



**Universidade de Aveiro** Departamento de Geociências



**Universidade do Porto** Faculdade de Ciências

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

2011

**JOSÉ AUGUSTO  
ALVES TEIXEIRA**

**Hidrogeomorfologia e sustentabilidade de recursos  
hídricos subterrâneos**



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências



Universidade do Porto

Faculdade de Ciências

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

2011

**JOSÉ AUGUSTO  
ALVES TEIXEIRA**

## **Hidrogeomorfologia e sustentabilidade de recursos hídricos subterrâneos**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro (UA) e Universidade do Porto (UP), integrada no *programa doutoral em Geociências UA/UP*, para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau conjunto de Doutor em Geociências, realizada sob a orientação científica do Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador com Agregação do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Politécnico do Porto e investigador do Centro GeoBioTec|UA e do Doutor Fernando Rocha, Professor Catedrático da Universidade de Aveiro e Coordenador do Centro GeoBioTec|UA

Apoio financeiro da FCT e do FSE no âmbito do POCI 2010 – Medida IV.3 e do QREN - POPH - Tipologia 4.1: SFRH / BD / 29762 / 2006



*Dedico esta tese a meus Pais...*

## o júri

presidente

Doutor Carlos Alberto Diogo Soares Borrego  
*Professor Catedrático da Universidade de Aveiro*

Doutor Augusto Pérez-Alberti  
*Professor Catedrático da Universidade de Santiago de Compostela*

Doutor Manuel João Senos Matias  
*Professor Catedrático da Universidade de Aveiro*

Doutor Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha  
*Professor Catedrático da Universidade de Aveiro (co-orientador)*

Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva  
*Professor Catedrático da Universidade de Aveiro*

Doutor Alcides José Sousa Castilho Pereira  
*Professor Associado com Agregação da Universidade de Coimbra*

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé  
*Professor Coordenador com Agregação do Instituto Superior de Engenharia do Porto,  
Politécnico do Porto (orientador)*

Doutor Jorge Manuel Espinha Marques  
*Professor Auxiliar da Universidade do Porto*

Doutor António Alberto Teixeira Gomes  
*Professor Auxiliar da Universidade do Porto*

## agradecimentos

A conclusão desta dissertação só se tornou possível devido à entre-ajuda e colaboração de diversas personalidades, entidades e amigos, às quais queremos aqui expressar o nosso sincero agradecimento.

Ao Professor Doutor Helder I. Chaminé (ISEP), meu orientador científico de longa data, que sempre me incutiu um espírito de trabalho aberto, metódico e rigoroso, pelo acompanhamento muito próximo da minha evolução científica e profissional ao longo de toda a dissertação, pelas longas e frutuosas sessões de trabalho no campo e gabinete, e pela leitura apurada das várias versões do manuscrito. De salientar a amizade sempre sentida e o estímulo criativo para eu não parar de evoluir como ser humano, investigador e geo-profissional...

Ao Professor Doutor Fernando Rocha (UA), pela orientação, apoio constante e voto de confiança para eu não deixar de evoluir na Escola de Geociências da Universidade de Aveiro, bem como pelas pertinentes sugestões de melhoramento ao manuscrito. Grato pelo apoio logístico, enquadramento do projecto de dissertação no Centro GEOBioTEC|UA e todas as facilidades laboratoriais do Departamento de Geociências|UA.

Ao Professor Doutor Augusto Pérez-Albertí (USC), pelo entusiasmo transmitido em todas as reuniões de trabalho em Portugal e na Galiza, por me ter recebido em vários estágios avançados de Geomorfologia Aplicada no Departamento de Geografia da Universidade de Santiago de Compostela, e pela leitura crítica de alguns tópicos do manuscrito.

Ao Professor Doutor José Martins Carvalho (TARH, Lda e ISEP), por me ter incluído em muitos projectos reais em que tive a oportunidade de ligar a geomorfologia aplicada à hidrogeologia prática e pela partilha de dados desses projectos, que se revelaram importantíssimos para a robustez dos casos de estudo explorados a nível metodológico. Grato ainda por todos os ensinamentos vivenciados na área da prospeção hidrogeológica de rochas-duras ao longo dos últimos 8 anos; pela amizade e pelo incentivo constante, em todos os momentos da minha caminhada profissional... por fim, a leitura do manuscrito e a partilha da sua visão da hidrogeologia profissional.

À Professora Doutora Maria José Afonso (ISEP), pela permanente troca de impressões, de partilha de bibliografia, de perspectivas hidrogeológicas em rochas duras fracturadas e pela leitura crítica de uma versão inicial do manuscrito, bem como por todo o apoio e palavras de força e incentivo.

Ao Professor Doutor Alberto Gomes (FLUP), meu antigo professor da licenciatura da UP pelo incentivo e companheirismo, bem como pela permanente troca de bibliografia sobretudo dos temas cartográficos SIG e geomorfológicos.

Ao Professor Doutor Jorge Espinha Marques (FCUP), director técnico das Caldas da Cavaca, pela partilha de dados, apoio logístico e frutuosas discussões sobre o sistema hidromineral das Caldas da Cavaca.

São devidos agradecimentos por apoios pontuais nas suas especialidades, mas decisivos em diversas etapas no desenvolvimento deste projecto: Professor Doutor Alcides Pereira (FCTUC), Dr. Paulo Norte (LRN|UC), Professor Doutor Paulo E. Fonseca (FCUL), Professora Doutora Rosário Carvalho (FCUL), Professor Doutor José Manuel Marques (IST), Eng.<sup>o</sup> Antonio Vega (ISEP), Professor Doutor João Paulo Meixedo (ISEP), Eng.<sup>a</sup> Maria Eugénia Lopes (ISEP), Eng.<sup>o</sup> José Filinto Trigo (ISEP), Professora Doutora Cristina Matos (ISEP), Professora Doutora Teresa Oliva-Teles (ISEP) e Eng.<sup>a</sup> Joana Ferreira.

À amiga e colega bolsreira Ana Pires (GEOBIOTEC|UA / LABCARGA|ISEP), pelo apoio, cumplicidades, por me aturar em alturas “menos boas” e pelas constantes palavras de incentivo positivo. A sua interior força telúrica foi determinante, em especial na fase final de redacção do manuscrito, onde me lembrava constantemente para eu “focalizar”...

Aos colegas “LABCARGUIANOS”, Eng<sup>a</sup> Patrícia Moreira, Eng<sup>a</sup> Catarina Rodrigues, Eng<sup>o</sup> Rui Santos Silva e Dra. Liliana Freitas, por todo o apoio, quer no campo quer em gabinete e pela sempre boa disposição que transmitiram. Sem o vosso real apoio a presente tarefa teria sido muito menos gratificante. Mas, sobretudo, sentir convosco e com os Professores Helder I. Chaminé, J. Martins Carvalho, A. Gomes, M.J. Afonso, imensas horas a fio, pela noite dentro, em que *“molhamos os pés nos aquíferos, calcorreamos montes e vales com mapas ou escrevinhamos artigos em casa do Chefe, sempre com uma viola por perto ou outras sonoridades clássicas ou alternativas...”*. Obrigado a todos!

Por fim, à minha Família mais próxima, o Hermínio, a Alice, o Fernando, o Jorge, a Cidália e o Filipe e, muito em especial, à Belisa; a todos os meus Amigos chegados, por todo o carinho e apoio que sempre me deram, e por compreenderem as minhas fases de alheamento e ausência...

Ao Centro de Investigação GeoBioCiências, GeoTecnologias e GeoEngenharia (GEOBIOTEC|UA) – Grupo de Georrecursos, Geotecnia e Geomateriais da Universidade de Aveiro, especialmente ao Prof. Fernando Rocha, pelos apoios financeiros: às últimas campanhas de análises físico-químicas das águas subterrâneas, à frequência do “Curso de SIG Aplicado às Águas Subterrâneas” (Almería, Espanha), à participação em congressos e seminários internacionais.

Ao Centro de Prestação de Serviços Especializados Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA|ISEP) do Instituto Superior de Engenharia do Porto, na pessoa do seu director Prof. Helder I. Chaminé, por todas as facilidades concedidas na utilização dos recursos do laboratório, bem como na partilha de informação cartográfica e bibliográfica fundamental ao desenvolvimento sereno deste trabalho.

Às sucessivas direcções do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP (Eng<sup>a</sup> Joana Sampaio, Eng<sup>o</sup> A. Carlos Galiza, Eng<sup>o</sup> José Augusto Fernandes) e à presidência do ISEP (Prof. João Rocha), pelo apoio institucional inequívoco à minha estadia no LABCARGA|ISEP durante os quatro anos de investigação.

Às entidades privadas TARH, Lda (Prof. J. M. Carvalho), Drinkin SA/Águas do Alardo (Eng.<sup>o</sup> Arnaldo Rocha), JAPP, Lda/Águas de Arouca (Eng.<sup>o</sup> J. Pinto Pereira), à Fundação INATEL (administrador geral, Dr. A. Vilela e administradores das Termas de Entre-os-Rios, Sr. Manuel Gonçalves e Dr. Carlos Pascoal), à Câmara Municipal de Aguiar da Beira/Caldas da Cavaca (Eng.<sup>o</sup> José Tavares e Prof. Joaquim Bonifácio), pelo apoio logístico e cedência de dados relativos aos vários pólos de estudo.

Ao Laboratório de Radioactividade Natural da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, nomeadamente ao seu director Prof. Alcides Pereira, pela realização de análises isotópicas de radão das águas subterrâneas.

Ao Instituto Ricardo Jorge, especialmente à Dr.<sup>a</sup> Ana M. Heitor, pela frutuosa discussão sobre as análises químicas da água, na preparação da primeira campanha de amostragem.

São devidos também agradecimentos ao Sr. António Dias (Caldas da Cavaca), ao Sr. Henrique (Noninha, Arouca), ao Sr. José Maria Pereira e ao Sr. José Soares (Entre-os-Rios) e ao Sr. António Maria (Alardo), profundos conhecedores dos pontos de água da sua região, pelo apoio incansável durante as várias campanhas de inventário hidrogeológico nos vários pólos em estudo.

Ao Centro GEOBIOTEC|UA, pelos apoios concedidos no âmbito do PEst-C/CTE/UI4035/2011 (Projecto Estratégico-UI 4035-2011/2012). Aos projectos HIMOCATCH|FCT (POCTI/CTA/44235/02), TERMARED INTERREG IV B SUDOE (SOE1/P1/E218), e HydroSPOT da Agência Espacial Europeia|ESA (FLUP/ISEP/USC|ESA-ID5750), pelo apoio logístico e partilha de dados essenciais à elaboração desta dissertação.

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), pela atribuição de uma bolsa de doutoramento em geociências (SFRH/BD/29762/2006) que permitiu desenvolver a presente investigação.

Nota: Tese escrita de acordo com a antiga ortografia.

## palavras-chave

Cartografia Aplicada, SIG, Águas Subterrâneas, Hidrogeomorfologia, Modelo Conceptual, Norte e Centro de Portugal

## resumo

A água subterrânea de rochas duras é uma fonte importante para fins domésticos, industriais e agrícolas e mesmo para o consumo humano. A geologia, a tectónica, a geomorfologia e as características hidrológicas controlam o fluxo, ocorrência e armazenamento das águas subterrâneas. A disponibilidade da água subterrânea no meio geológico está totalmente dependente das áreas de recarga e de descarga numa determinada bacia. A precipitação é a principal fonte de recarga em aquíferos descontínuos, enquanto que a descarga depende dos declives do terreno e dos gradientes do nível hidrostático e ainda das condições hidrogeológicas do solo.

A hidrogeomorfologia é um domínio interdisciplinar emergente, que estuda as relações entre as unidades geomorfológicas e o regime das águas superficiais e subterrâneas de uma determinada área. A compreensão do papel da geomorfologia é essencial para avaliar de forma rigorosa os sistemas hidrogeológicos e os recursos hídricos. Os dados de detecção remota providenciam uma informação espacial valiosa e actualizada da superfície terrestre e dos recursos naturais. Os recentes avanços tecnológicos colocaram as técnicas de detecção remota e os sistemas de informação geográfica (SIG) numa posição cimeira como ferramentas de gestão metodológica. Foi criada, em ambiente SIG, uma base de geo-dados, essencialmente derivada da detecção remota, da cartografia e do trabalho de campo. Esta base de dados, organizada em diferentes níveis de informação, inclui uma avaliação principalmente focalizada no uso do solo, climatologia, declives, geologia, geomorfologia e hidrogeologia. No presente estudo foram cruzados diversos níveis de informação, com a geração de múltiplos mapas temáticos para atingir um quadro integrado dos diversos sectores no Norte e Centro de Portugal.

Os sectores em estudo (Caldas da Cavaca, Termas de Entre-os-Rios, Águas de Arouca e Águas do Alardo) estão localizados em sistemas hidrogeológicos predominantemente constituídos por rochas graníticas, por vezes intersectadas por filões de quartzo, aplito-pegmatíticos e doleríticos. Para apoiar a elaboração dos mapas hidrogeomorfológicos foi criada uma base SIG, contendo diversa informação, nomeadamente topografia, hidrografia, litologia, tectónica, morfoestrutura, hidrogeologia, geofísica e uso do solo. Além disso, foram realizadas várias campanhas de campo, as quais permitiram: o estabelecimento dum mapeamento geológico, geomorfológico e hidrogeológico; a caracterização *in situ* do grau de alteração, resistência e grau de fracturação dos maciços rochosos; o desenvolvimento de um inventário hidrogeológico em conjunto com alguns ensaios expeditos *in situ*.

A interligação entre os parâmetros geomorfológicos, hidrológicos e hidrogeológicos dos sistemas de água subterrânea "normal" e hidromineral destaca a importância de uma cartografia e duma modelação conceptual hidrogeomorfológica. Além disso, contribuirá para um melhor apoio à decisão na gestão sustentável dos recursos hídricos.

**keywords**

Applied Cartography, GIS, Groundwater, Hydrogeomorphology, Conceptual Model, North and Central Portugal.

**abstract**

Groundwater of hard rocks is an important source for domestic, industrial and agricultural purposes and even for public supply. Geology, tectonics, geomorphology and hydrological properties control groundwater movement, occurrence and storage. Availability of groundwater that takes place in a geological medium is totally dependent on recharge and discharge areas in a given groundwater catchment. Rainfall is the main source of recharge to existing discontinuous aquifers, while discharge depends on terrain slopes and water table gradients and also on ground hydrogeologic conditions.

Hidrogeomorphology is an emergent interdisciplinary field, which studies the relationships between geomorphology and surface water and groundwater in a given area. Understanding the role of geomorphology is essential to accurately assess hydrogeological systems and groundwater resources. Remotely sensed data provides valuable and up-to-date spatial information on physical terrain and natural resources. Recent technological advances have brought remote sensing and geographic information system (GIS) techniques to the forefront as tools for recommending management methods. In a GIS environment, a geo-database was created, chiefly derived from remote sensing, mapping and fieldwork. This geo-database, organised in different layers, includes an evaluation mainly focused on present land use, climatology, slope, geology, geomorphology and hydrogeology. In the present study, different layers were overlaid, generating several thematic maps to arrive at an integrated framework of the several key-sectors in North and Central Portugal.

The study areas (namely, *Caldas da Cavaca*, *Termas de Entre-os-Rios*, *Águas de Arouca* and *Águas do Alardo*) are located in hydrogeological systems predominantly constituted by hard granitic rocks, sometimes interrupted by quartz veins, pegmatitic-aplite veins and doleritic dykes. To support the creation of hydrogeomorphologic maps, a GIS base was created, containing several information like topography, hydrography, lithology, tectonics, morphostructure, hydrogeology, geophysics and land cover. Also, a number of field campaigns were performed, which permitted: the establishment of geological, geomorphological and hydrogeological mapping; the *in situ* characterization of weathering and strength grades and fracturing degree of the rock masses; the development of a hydrogeological inventory along with some *in situ* field tests.

The connection between geomorphologic, hydrologic and hydrogeological parameters of groundwater and hydromineral systems highlights the importance for the hydrogeomorphological conceptual modelling and mapping. In addition, this will contribute to a better decision-making of water resources management and sustainability.



---

# Índice

Índice	1
Índice de figuras	5
Índice de quadros	15
Índice de equações	18
Índice de anexos	18
<b>Parte 1</b>	<b>19</b>
1. Introdução Geral	21
1.1. Considerações iniciais	23
1.2. Objectivos	24
1.3. Áreas de estudo	25
1.4. Estrutura da investigação	27
2. Métodos e Técnicas	29
2.1. Trabalho de campo	31
2.1.1. Cartografia geológica e geomorfológica de pormenor	31
2.1.2. A técnica da amostragem linear para estudos do grau de fracturação do maciço rochoso	32
2.1.3. Ensaios geomecânicos in situ: o esclerómetro portátil	36
2.1.4. Inventário hidrogeológico	40
2.1.5. Hidrogeoquímica convencional	43
2.1.6. Análises radiológicas das águas	44
2.1.7. Detecção remota e foto-interpretação geológica/geomorfológica	45
2.2. Sistemas de Informação Geográfica e outras ferramentas geo-informáticas	51
2.2.1. Generalidades	51
2.2.2. Cartografia de base	57
2.2.3. GPS - Global Positioning System	57
2.2.4. Georreferenciação, vectorização. Modelação e análise SIG	60
2.2.5. Análise hidrogeoquímica: AquaChem	65
2.2.6. Representações gráficas utilizadas	65
3. Hidrogeomorfologia e Recursos Hídricos: fundamentos e aplicações	69
3.1. Recursos hídricos subterrâneos: propriedades dos aquíferos e das rochas cristalinas	71
3.1.1. Generalidades	71

---

3.1.2.	O Ciclo hidrológico	72
3.1.3.	Propriedades dos aquíferos	74
3.1.4.	Movimento da água nos aquíferos	80
3.1.5.	Parâmetros hidrogeológicos	83
3.1.5.1.	Porosidade	84
3.1.5.2.	Coefficiente de armazenamento	86
3.1.5.3.	Permeabilidade	87
3.1.5.4.	Transmissividade	88
3.1.6.	Algumas propriedades físico-químicas da água	88
3.1.6.1.	Cheiro	89
3.1.6.2.	Sabor	89
3.1.6.3.	Cor	89
3.1.6.4.	Turvação	90
3.1.6.5.	Temperatura	90
3.1.6.6.	Dureza	91
3.1.6.7.	pH	91
3.1.6.8.	Condutividade eléctrica	91
3.1.7.	<i>Propriedades hidrológicas das rochas cristalinas</i>	92
3.1.7.1.	Expressão geomorfológica e hidrológica na zona alterada	94
3.1.7.2.	Expressão geomorfológica e hidrológica das estruturas monoclinais	96
3.1.7.3.	Expressão geomorfológica e hidrológica dos dobramentos	98
3.1.7.4.	Expressão geomorfológica e hidrológica das falhas	100
3.1.7.5.	Expressão geomorfológica e hidrológica da fracturação sensu lato	102
3.1.7.6.	Expressão geomorfológica e hidrológica dos lineamentos	103
<b>3.2.</b>	<b>Hidrogeomorfologia: uma área científica interdisciplinar emergente</b>	<b>105</b>
3.2.1.	Trabalhos anteriores	107
<b>3.3.</b>	<b>Cartografia hidrogeomorfológica</b>	<b>115</b>
3.3.1.	Ferramentas essenciais da cartografia geomorfológica	115
3.3.2.	Mapas temáticos em hidrogeomorfologia	117
<b>3.4.</b>	<b>Aplicações: hidrogeomorfologia e recursos hídricos subterrâneos</b>	<b>122</b>
3.4.1.	Gestão de recursos hídricos subterrâneos	122
3.4.2.	Áreas de máximo potencial de infiltração	123
3.4.3.	Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos	124
<b>Parte 2</b>		<b>127</b>
<b>4.</b>	<b>Traços gerais da geomorfologia e da hidrogeologia do NW Penínsular</b>	<b>129</b>
4.1.	Considerações iniciais	131
4.2.	Quadro geográfico e climático	131
4.3.	Quadro geotectónico	138
4.4.	Quadro geomorfológico e morfotectónico	141
4.5.	Quadro hidrogeológico	147
4.6.	Ocorrência de recursos hidrominerais no NW Peninsular	151

---

4.6.1.	O projecto TERMARED	155
<b>5.</b>	<b>Hidrogeomorfologia e Recursos Hídricos: estudo de sectores-chave no Maciço Antigo</b>	<b>169</b>
<b>5.1.</b>	<b>Considerações iniciais</b>	<b>171</b>
<b>5.2.</b>	<b>Breve síntese da abordagem metodológica</b>	<b>173</b>
<b>SECTOR I: Aguiar da Beira – Arouca – Penafiel</b>		<b>177</b>
<b>5.3.</b>	<b>Pólo das Caldas da Cavaca (Aguiar da Beira)</b>	<b>177</b>
5.3.1.	Enquadramento geológico local	177
5.3.2.	Enquadramento geomorfológico local	184
5.3.3.	Hidroclimatologia	189
5.3.3.1.	Análise climática e balanço hídrico	189
5.3.3.2.	Recarga e escoamento	191
5.3.4.	Caracterização do maciço rochoso	191
5.3.5.	Condições hidrogeológicas	220
5.3.5.1.	O inventário hidrogeológico	220
5.3.5.2.	Hidroquímica	232
5.3.5.3.	Unidades hidrogeológicas	238
5.3.5.4.	Hidrogeofísica	241
5.3.6.	Cartografia hidrogeomorfológica: esboço do potencial de infiltração	244
<b>5.4.</b>	<b>Pólo da Noninha, Alvarenga (Arouca)</b>	<b>253</b>
5.4.1.	Considerações iniciais	253
5.4.2.	Enquadramento geológico	255
5.4.3.	Enquadramento geomorfológico	265
5.4.4.	Hidroclimatologia	270
5.4.4.1.	Análise climática e balanço hídrico	270
5.4.4.2.	Recarga e escoamento subterrâneo	272
5.4.5.	Caracterização do maciço rochoso	274
5.4.6.	Condições hidrogeológicas	313
5.4.6.1.	O inventário hidrogeológico	313
5.4.6.2.	Hidroquímica	323
5.4.6.3.	Unidades hidrogeológicas	330
5.4.7.	Cartografia hidrogeomorfológica: esboço do potencial de infiltração	334
<b>5.5.</b>	<b>Pólo de Entre-os-Rios (Penafiel)</b>	<b>345</b>
5.5.1.	Considerações iniciais	345
5.5.2.	Enquadramento geológico local	349
5.5.3.	Enquadramento geomorfológico local	360
5.5.4.	Hidroclimatologia	365
5.5.5.	Condições hidrogeológicas	369
5.5.5.1.	O inventário hidrogeológico	369
5.5.5.2.	Hidroquímica	378
5.5.5.3.	Unidades hidrogeológicas	385
5.5.6.	Cartografia hidrogeomorfológica: esboço do potencial de infiltração	388
<b>SECTOR II – Serra da Gardunha</b>		<b>399</b>

---

<b>5.6. Pólo do Alardo (Castelo Novo, Fundão)</b>	<b>399</b>
5.6.1. Enquadramento geológico local	401
5.6.2. Enquadramento geomorfológico local	407
5.6.3. Hidroclimatologia	409
5.6.3.1. Análise climática e balanço hídrico	409
5.6.3.2. Recarga e escoamento	412
5.6.4. Condições hidrogeológicas	413
5.6.4.1. O inventário hidrogeológico	413
5.6.4.2. Hidroquímica	421
5.6.4.3. Unidades hidrogeológicas	422
5.6.5. Cartografia hidrogeomorfológica: esboço do potencial de infiltração	426
<b>Parte 3</b>	<b>435</b>
6. Modelos hidrogeológicos conceptuais: o papel da hidrogeomorfologia	437
6.1. Considerações iniciais	439
6.2. Modelo hidrogeológico conceptual dos pólos de estudo	443
<i>Modelo hidrogeológico conceptual da área das Caldas da Cavaca</i>	444
<i>Modelo hidrogeológico conceptual da área da Noninha</i>	453
<i>Modelo hidrogeológico conceptual da área de Entre-os-Rios</i>	462
Modelo hidrogeológico conceptual da área do Alardo	468
6.3. Potencial de Infiltração: um índice geomorfológico para a definição das áreas das armadilhas hidrogeológicas?	473
7. Conclusões e perspectivas futuras	479
8. Bibliografia	485
Anexos	505

---

## Índice de Figuras

<i>Figura 1 – Localização dos sectores e pólos do presente estudo: a) bacias hidrográficas da região Norte e Centro de Portugal; b) enquadramento geral; c) Sector de Aguiar da Beira/Arouca/Penafiel; d) Sector da Serra da Gardunha.</i>	26
<i>Figura 2 - Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear (adaptado de Brady &amp; Brown, 2004).</i>	33
<i>Figura 3 - Os principais parâmetros geológico/geotécnicos medidos para a caracterização de um maciço rochoso (adaptado de Hudson &amp; Harrison, 2000).</i>	34
<i>Figura 4 – Ficha-tipo de levantamento geológico-geomecânico de campo, usada durante a aplicação da técnica de amostragem linear.</i>	35
<i>Figura 5 – Exemplo de aplicação da base de dados ScanGeoData BGD desenvolvida para maciços rochosos fracturados (Fonseca et al., 2010).</i>	36
<i>Figura 6 - Exemplo da utilização do martelo de Schmidt do tipo L durante o trabalho de campo.</i>	38
<i>Figura 7 - Ábaco de Miller (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).</i>	39
<i>Figura 8 – Exemplo de aplicação da base de dados SchmidtData UCS desenvolvida para maciços rochosos fracturados (adaptado de Fonseca et al., 2010).</i>	40
<i>Figura 9 – Exemplo da utilização do GPS de alta precisão Trimble® GeoExplorer XH2008 na georreferenciação de pontos de água, e foto de pormenor do equipamento.</i>	41
<i>Figura 10 - Modelo de ficha de inventário hidrogeológico utilizada no trabalho de campo (adaptada e modificada de Carvalho, 2006).</i>	42
<i>Figura 11 - Controlo in situ da temperatura, do pH e da condutividade eléctrica da água e aspecto de pormenor do equipamento portátil da Hanna® Instruments HI991300.</i>	44
<i>Figura 12 - Espectrómetro de cintilação líquida ultra-sensível Perkin Elmer Quantulus 1220, para a determinação de diversos radionuclídeos.</i>	45
<i>Figura 13 – Interação entre diferentes escalas nas quais os diversos processos biofísicos e geodinâmicos dominam no cálculo dos regimes ambientais (adaptado de Wilson &amp; Gallant, 2000).</i>	52
<i>Figura 14 – Tarefas associadas aos Modelos Digitais de Terreno / DEM - Digital Elevation Models (adaptado de Schuurman, 2004) (A) ; Integração de diferentes níveis de informação num Sistema de Informação Geográfica destinado a apoiar estudos de engenharia de recursos hídricos (adaptado de Singhal &amp; Gupta, 2010) (B).</i>	53
<i>Figura 15 – Síntese geral dos processos de análise e produção de cartografia com recurso aos SIG.</i>	56
<i>Figura 16 – Segmentos do sistema GPS (Adaptado e modificado de El-Rabbany, 2002).</i>	59
<i>Figura 17 – Modelo conceptual usado na resolução de problemas espaciais (adaptado de McCoy &amp; Johnston, 2001).</i>	62
<i>Figura 18 – Esquema básico de construção de modelos espaciais (adaptado de Ormsby et al., 2004).</i>	63
<i>Figura 19 - Modelo Conceptual da metodologia SIG usada na construção da cartografia hidrogeomorfológica aplicada aos recursos hídricos (adaptado de Teixeira et al., 2010a).</i>	64
<i>Figura 20 - Exemplo de diagrama de Piper (adaptado de Fetter, 2001).</i>	66
<i>Figura 21 - Exemplos de diagramas de Stiff (adaptado de Sanders, 1998).</i>	67
<i>Figura 22 - Reconstituição do sistema “Shaduf” (Mesopotâmia, ca. 2300 A.C.) e na actualidade; aquedutos e cisternas de água construído pelos Romanos (segundo Mays, 2010).</i>	72
<i>Figura 23 - Ciclo hidrológico ou ciclo da água (Adaptado de USGS, 2011).</i>	73
<i>Figura 24 - Esquema de circulação da água na Terra (Adaptado de Fetter, 2001).</i>	73

<i>Figura 25 – Representação esquemática de de um aquífero poroso (adaptado de Hiscock, 2005).</i> .....	75
<i>Figura 26 – Esquema de um aquífero fracturado (adaptado de Bisson &amp; Lehr, 2004).</i> .....	76
<i>Figura 27 – Exemplo de um aquífero cársico (adaptado de Hiscock, 2005).</i> .....	77
<i>Figura 28 – Exemplo de um aquífero livre (adaptado de Fetter, 2001).</i> .....	78
<i>Figura 29 – Aquífero confinado e comportamento dos furos realizados neste tipo de aquífero (adaptado de Fetter, 2001).</i> .....	79
<i>Figura 30 – Esquema de um aquífero semi-confinado (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).</i> .....	79
<i>Figura 31 - Cone de superfície de influência na bombagem de um furo (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).</i> .....	80
<i>Figura 32 – Zonas de circulação de água solo e subsolo (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).</i> .....	81
<i>Figura 33 – Exemplo de tempos de residência das águas nos sistemas aquíferos (adaptado de Cleary, 1989 e Heath, 1982).</i> .....	83
<i>Figura 34 - Porosidade vs. textura da rocha (Adaptado de Meinzer, 1923, in Hiscock, 2005).</i> .....	84
<i>Figura 35 - Representação esquemática da Lei de Darcy (adaptado de Freeze &amp; Cherry, 1979).</i> .....	87
<i>Figura 36 - Modelo de circulação da água subterrânea no sustrato rochoso cristalino e no manto de alteração (segundo Chilton &amp; Foster, 1993, in Singhal &amp; Gupta, 2010).</i> .....	95
<i>Figura 37 – Tipo de rede de drenagem em treliça que se desenvolve nas estruturas monoclinais (adaptado de Ollier &amp; Clayton, 1981).</i> .....	97
<i>Figura 38 – Representação esquemática de nascentes condicionadas por contactos geológicos (Adaptado de Fetter, 2001).</i> .....	98
<i>Figura 39 – Processo de inversão do relevo e rede hidrográfica associada (Adaptado e modificado de Christofolletti, 1982; Babar, 2002b).</i> .....	99
<i>Figura 40 – Nascentes associadas a falhas, em maciços cristalinos metassedimentares (Adaptado de Fetter, 2001).</i> .....	101
<i>Figura 41 – Nascentes associadas a zonas fracturadas, em maciços cristalinos graníticos (Adaptado de Fetter, 2001).</i> .....	102
<i>Figura 42 - Nascentes associadas a fracturas e diaclasamento, em maciços cristalinos graníticos (Adaptado de Fetter, 2001).</i> .....	103
<i>Figura 43 – Ocorrência de água subterrânea, ligada a lineamentos tectónicos (adaptado de Fetter, 2001).</i> .....	104
<i>Figura 44 – Representação esquemática dos estudos em hidrogeomorfologia nos anos 60-70, do Século XX (segundo Gregory, 1979).</i> .....	110
<i>Figura 45 – Síntese da evolução histórica dos principais trabalhos numa área científica emergente: hidrogeomorfologia</i> .....	114
<i>Figura 46 - Classificação climática de Köppen-Geiger na Península Ibérica e nas Ilhas Baleares (segundo IM/AEMet, 2011).</i> .....	133
<i>Figura 47 - Carta de isoietas anuais médias das regiões Norte e Centro de Portugal (adaptado de: I. Ambiente, 1991/92), com indicação dos dois sectores de estudo desta dissertação.</i> .....	134
<i>Figura 48 - Carta de temperaturas anuais médias das regiões Norte e Centro de Portugal (adaptado de: I. Ambiente, 1991/92), com indicação dos dois sectores de estudo desta dissertação.</i> .....	136
<i>Figura 49 – Carta de ocupação do solo das regiões Norte e Centro (adaptada e simplificada de CORINE LAND COVER, 2006; Caetano et al., 2009), indicação dos dois sectores de estudo desta dissertação.</i> .....	137
<i>Figura 50 - Unidades estruturais de 1ª ordem (terrenos) e de 2ª ordem (Zonas) no Varisco Ibérico (adaptado de Ribeiro et al., 1996; Vera, 2004).</i> .....	139
<i>Figura 51 – Esboço das unidades geomorfológicas regionais, a Norte da Figueira da Foz (adaptado de Feio &amp; Daveau, 2004).</i> .....	143

---

<i>Figura 52 – Rede hidrográfica e principais bacias hidrográficas das regiões Norte e Centro de Portugal (Adaptado de I. Ambiente, 1991/92; INAG, 2002).</i>	146
<i>Figura 53 – Enquadramento das bacias hidrográficas nacionais e internacionais, na União Europeia (adaptado de Comissão Europeia, 2007).</i>	147
<i>Figura 54 - Esboço de unidades hidrogeológicas do Norte e Centro de Portugal (Adaptado de INAG, 1997; Carvalho, 2006; Carvalho &amp; Chaminé, 2007), com indicação dos dois sectores de estudo desta dissertação...</i>	148
<i>Figura 55 – Ocorrências hidrominerais no Noroeste Peninsular, para os territórios da Galiza e do Norte/Centro de Portugal: uma visão de conjunto de mais de 700 ocorrências hidrominerais (síntese e inventário no âmbito do projecto TERMARED (2009-2011), arquivo LABCARGA\ISEP).</i>	154
<i>Figura 56 – Esquema metodológico de recolha e análise de dados relativos às nascentes termais do Norte de Portugal e da Galiza, desenvolvido no âmbito do projecto TERMARED.</i>	156
<i>Figura 57 – Aspecto da plataforma SIG/Base de Dados Geográficos desenvolvida, com destaque para a ficha bibliográfica associada a cada ponto.</i>	157
<i>Figura 58 – Ocorrências de águas minerais nas regiões Norte e Centro de Portugal.</i>	158
<i>Figura 59 – Mapa geológico da área entre Monção e Messegães, com indicação dos locais das nascentes inventariadas.</i>	159
<i>Figura 60 – Aspectos de algumas das nascentes visitadas ao longo do trabalho de campo realizado no âmbito do Projecto TERMARED, na área do Rio Minho.</i>	160
<i>Figura 61 – Exemplo de ficha hidrogeológica de campo, relativa ao ponto de água do Angueiro.</i>	161
<i>Figura 62 – Exemplo da ficha produzida para a nascente do Angueiro (publicada em TERMARED, 2011).</i>	163
<i>Figura 63 – Esboço geológico da área envolvente à nascente da Azenha/Poço Quente (adaptado de Teixeira et al., 1967 e Moreira et al., 2010).</i>	165
<i>Figura 64 – Aspectos de algumas das nascentes visitadas ao longo do trabalho de campo realizado no âmbito do Projecto TERMARED, na área da Azenha/Poço Quente.</i>	165
<i>Figura 65 - Exemplo de ficha hidrogeológica de campo, relativa ao ponto de água da Nascente da Azenha/Poço Quente.</i>	166
<i>Figura 66 – Exemplo da ficha produzida para a nascente da Azenha/Poço Quente (publicada em TERMARED, 2011).</i>	168
<i>Figura 67 – Esquema da Zona Crítica da Terra (“Earth Critical Zone”, adaptado e modificado de Lin, 2010).</i>	176
<i>Figura 68 – Enquadramento regional da área das Caldas da Cavaca.</i>	179
<i>Figura 69 – Aspecto do granito porfíroide de grão grosseiro, aflorante na área das Caldas da Cavaca.</i>	180
<i>Figura 70 – Esboço geológico (adaptado de Carvalho et al., 2005a) e diagrama de roseta dos lineamentos tectónicos da área das Caldas da Cavaca.</i>	181
<i>Figura 71 - Aspectos geológicos da área envolvente das Caldas da Cavaca.</i>	182
<i>Figura 72 – Aspecto geral (a) e de pormenor (b) de um filão dolerítico pouco alterado, cartografado nas imediações das Caldas da Cavaca.</i>	183
<i>Figura 73 – Perspectiva da morfologia na área das Caldas da Cavaca.</i>	184
<i>Figura 74 – Principais bacias hidrográficas na área das Caldas da Cavaca (adaptado de I. Ambiente, 1991/92 e INAG, 2002).</i>	185
<i>Figura 75 – Principais direcções da rede hidrográfica na área das Caldas da Cavaca, para os quadrantes Noroeste, NW (a) e Nordeste, NE (b).</i>	185
<i>Figura 76 - Perfis topográficos sequenciais da área das Caldas da Cavaca.</i>	187
<i>Figura 77 – Esboço geomorfológico da área envolvente das Caldas da Cavaca.</i>	188
<i>Figura 78 - Diagrama termoplúviométrico relativo à estação climatológica de Aguiar da Beira.</i>	190
<i>Figura 79 - Balanço hidrológico sequencial mensal relativo à estação climatológica de Aguiar da Beira.</i>	190

---

---

<i>Figura 80 – Localização dos taludes estudados através da técnica da amostragem linear.</i> .....	192
<i>Figura 81 – Tipos de descontinuidade (a) grau de alteração (b) do Talude dos Amores.</i> .....	193
<i>Figura 82 – Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do Talude dos Amores.</i> .....	193
<i>Figura 83 – Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades do Talude dos Amores.</i> .....	194
<i>Figura 84 – Curvatura (a) e rugosidade (b) das descontinuidades do Talude dos Amores.</i> .....	194
<i>Figura 85 – Enchimento (a) e presença de água (b) nas descontinuidades do Talude dos Amores.</i> .....	194
<i>Figura 86 – Diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao Talude dos Amores</i> .....	195
<i>Figura 87 – Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades (a) e do material rocha (b) do Talude dos Amores.</i> .....	195
<i>Figura 88 – Aspecto do maciço medianamente alterado (a) e de bloco rochoso com água escorrente (b) no Talude dos Amores.</i> .....	196
<i>Figura 89 – Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração no Talude da Capela.</i> .....	197
<i>Figura 90 – Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do Talude da Capela.</i> .....	198
<i>Figura 91 – Continuidade (a) e terminação (b) das das descontinuidades do Talude da Capela.</i> .....	198
<i>Figura 92 – Curvatura (a), rugosidade (b) e enchimento (c) das descontinuidades do Talude da Capela.</i> .....	199
<i>Figura 93 - Diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao Talude da Capela</i> .....	199
<i>Figura 94 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do Talude da Capela.</i> .....	200
<i>Figura 95 – Aspecto do maciço alterado no Talude da Capela(a), e aspecto de pormenor de um plano de falha ainda bem visível na matriz alterada do maciço (b).</i> .....	201
<i>Figura 96 - Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração no Talude da Lagoa.</i> .....	202
<i>Figura 97 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do Talude da Lagoa.</i> .....	202
<i>Figura 98 - Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades do Talude da Lagoa.</i> .....	203
<i>Figura 99 - Curvatura (a) e rugosidade (b) das descontinuidades do Talude da Lagoa.</i> .....	203
<i>Figura 100 - Enchimento (a) e presença de água (b) nas descontinuidades do Talude da Lagoa.</i> .....	204
<i>Figura 101 - Diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao Talude da Lagoa</i> .....	204
<i>Figura 102 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades (a) e do material rocha (b) do Talude da Lagoa.</i> .....	205
<i>Figura 103 – Aspecto da fracturação Talude da Lagoa (a) e aspecto do maciço alterado <math>W_3</math> (b).</i> .....	206
<i>Figura 104 - Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração no Talude da Cancela.</i> .....	207
<i>Figura 105 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do Talude da Cancela.</i> .....	207
<i>Figura 106 - Continuidade (a) e terminação (b) das das descontinuidades do Talude da Cancela.</i> .....	208
<i>Figura 107 - Curvatura (a), rugosidade (b) e enchimento (c) das descontinuidades do Talude da Cancela.</i> .....	208
<i>Figura 108 - Diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao Talude da Cancela</i> .....	209
<i>Figura 109 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades (a) e do material rocha (b) do Talude da Cancela.</i> .....	209
<i>Figura 110 – Aspecto de parte do Talude da Cancela, onde se identifica uma falha da principal família de fracturação (N 25°-45°E, 85° SE).</i> .....	210
<i>Figura 111 - Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração (b) para a globalidade das descontinuidades da área das Caldas da Cavaca.</i> .....	211
<i>Figura 112 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades da área das Caldas da Cavaca.</i> .....	212
<i>Figura 113 - Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades da área das Caldas da Cavaca.</i> .....	212
<i>Figura 114 - Curvatura (a), rugosidade (b) das descontinuidades da área das Caldas da Cavaca.</i> .....	213
<i>Figura 115 - Enchimento (a) e presença de água (b) nas descontinuidades da área das Caldas da Cavaca.</i> ...	213
<i>Figura 116 - Localização dos taludes de levantamento geológico-geotécnico na área das Caldas da Cavaca e diagramas de rosetas das descontinuidades.</i> .....	214

---



<i>Figura 117 - Diagrama de rosetas relativos à área das Caldas da Cavaca, com indicação das principais direcções onde foi registada a presença de água.</i>	215
<i>Figura 118 - Diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos à área das Caldas da Cavaca, para as estruturas do tipo falha.</i>	215
<i>Figura 119 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades (a) e do material rocha (b) na área das Caldas da Cavaca.</i>	216
<i>Figura 120 – Perspectiva 3D da litologia, estrutura e grau de alteração do maciço da área das Caldas da Cavaca (adaptado de Teixeira et al., 2010a).</i>	218
<i>Figura 121 – Lineamentos tectónicos foto-interpretados na área das Caldas da Cavaca, para os quadrantes Noroeste (a) e Nordeste (b).</i>	219
<i>Figura 122 – Inventário hidrogeológico dos pontos de água da área das Caldas da Cavaca (a), e pormenor na área envolvente às Caldas da Cavaca (b).</i>	222
<i>Figura 123 - Aspectos relativos ao inventário hidrogeológico na área das Caldas da Cavaca.</i>	224
<i>Figura 124 – Lineamentos tectónicos do quadrante NW (a) e do quadrante NE (b), e densidade de pontos de água da área das Caldas da Cavaca.</i>	225
<i>Figura 125 – Espacialização do pH, condutividade eléctrica e temperatura na área das Caldas da Cavaca.</i>	226
<i>Figura 126 - Corte esquemático do Furo Velho (segundo Freire de Andrade, 1935).</i>	226
<i>Figura 127 - Perfil esquemático do Furo Novo (adaptado e reinterpretado de HidroNorte, 1995; Espinha Marques et al., 2004).</i>	227
<i>Figura 128 – Perfil esquemático do Furo Cavaca 2 (adaptado de R. L. Azenha, 2007).</i>	228
<i>Figura 129 – Perfil esquemático do furo Cavaca 3 (adaptado de R. L. Azenha, 2007).</i>	229
<i>Figura 130 – Perfis geológicos interpretativos da área das Caldas da Cavaca, recriando as condições geológicas do grau de alteração e os principais estrangimentos hidrogeológicos.</i>	231
<i>Figura 131 – Localização dos pontos de amostragem de águas na área das Caldas da Cavaca.</i>	232
<i>Figura 132 - Diagrama de Piper representativo das águas das captações de água mineral das Caldas da Cavaca.</i>	233
<i>Figura 133 – Diagramas de Stiff representativos (valores médios) das captações de água mineral das Caldas da Cavaca.</i>	234
<i>Figura 134 - Diagrama de Piper representativo das águas normais da área das Caldas da Cavaca.</i>	234
<i>Figura 135 - Diagramas de Stiff representativos das águas normais da área das Caldas da Cavaca.</i>	235
<i>Figura 136 – Valores de gás radão (<math>^{222}\text{Rn}</math>) e actividade <math>\alpha</math> e <math>\beta</math>, nas amostras da área das Caldas da Cavaca.</i>	237
<i>Figura 137 – Valores de gás radão <math>^{222}\text{Rn}</math> na área das Caldas da Cavaca.</i>	238
<i>Figura 138 - Índice de vulnerabilidade GOD, para as unidades hidrogeológicas da área das Caldas da Cavaca.</i>	239
<i>Figura 139 – Esboço hidrogeológico da área das Caldas da Cavaca.</i>	240
<i>Figura 140 - Síntese interpretativa dos levantamentos geofísicos realizados na área das Caldas da Cavaca (adaptado de Espinha Marques et al., 2004; GeoSonda, 2004; TARH, 2005).</i>	243
<i>Figura 141 – Mapa da litologia e grau de alteração superficial da área das Caldas da Cavaca.</i>	245
<i>Figura 142 - Mapa da densidade de lineamentos tectónicos da área das Caldas da Cavaca.</i>	246
<i>Figura 143 – Mapa da ocupação do solo da área das Caldas da Cavaca (reinterpretado com base no ortofotomapa de 2006).</i>	247
<i>Figura 144 – Mapa da densidade da rede de drenagem da área das Caldas da Cavaca.</i>	248
<i>Figura 145 – Mapa de declives da área das Caldas da Cavaca.</i>	249
<i>Figura 146 – Mapa da precipitação média anual da área das Caldas da Cavaca.</i>	250
<i>Figura 147 – Potencial de infiltração da área das Caldas da Cavaca.</i>	251

<i>Figura 148 – Mapa hidrogeomorfológico da área das Caldas da Cavaca: o potencial de infiltração.....</i>	<i>252</i>
<i>Figura 149 – Panorâmica da Serra de S. Pedro e da Nascente de S. Pedro das Meadinhos (a); aspecto geral do vale da Ribeira da Noninha em Junho de 2008 (b). .....</i>	<i>254</i>
<i>Figura 150 - Enquadramento topográfico da área envolvente à nascente de S. Pedro das Meadinhos. ....</i>	<i>255</i>
<i>Figura 151 - Enquadramento regional da área das Águas de Arouca. A: enquadramento morfotectónico regional; B: Imagem de satélite (adaptada de Landsat 7 ETM+ 2000/01; bandas 7-4-5= RGB) e nascentes hidrominerais (adaptadas de Carvalho 2006); C: relevo sombreado e geologia regional (adaptado de Oliveira et al. 1992); D: declives. ....</i>	<i>257</i>
<i>Figura 152 - Enquadramento geológico regional da área da Noninha (revisto de Teixeira et al., 1969; Oliveira et al., 1992). ....</i>	<i>259</i>
<i>Figura 153 – Esboço geológico local da área da Noninha, com diagrama de rosetas dos lineamentos tectónicos fotointerpretados.....</i>	<i>260</i>
<i>Figura 154 – Aspecto da alteração superficial visível pelo rególito granítico na área da nascente da Ribeira da Noninha (a) e perfil típico da alteração do granito (b).....</i>	<i>261</i>
<i>Figura 155 - Perfis típicos da alteração do granito e dos depósitos de cobertura na área envolvente à nascente de S. Pedro das Meadinhos (Noninha).....</i>	<i>262</i>
<i>Figura 156 – Aspectos geológicos da área da Nascente de S. Pedro das Meadinhos. ....</i>	<i>264</i>
<i>Figura 157 - Principais bacias hidrográficas na área da Noninha (adaptado de I. Ambiente, 1991/92). ....</i>	<i>266</i>
<i>Figura 158 – Aspectos da área aplanada e formas residuais no topo da Serra de S. Pedro, vista de Sul.....</i>	<i>267</i>
<i>Figura 159 – Esboço geomorfológico regional da área da Noninha, Serra de S. Pedro. ....</i>	<i>268</i>
<i>Figura 160 - Perfis topográficos sequenciais da área da Serra de S. Pedro. ....</i>	<i>270</i>
<i>Figura 161 – Diagrama termopluiométrico para da estação de Bigorne (INMG, 1990). ....</i>	<i>271</i>
<i>Figura 162 – Balanço hidrológico sequencial mensal relativo à estação climatológica de Bigorne.....</i>	<i>272</i>
<i>Figura 163 – Hidrograma relativo à estação hidrométrica de Fragas da Torre (1946-2006). ....</i>	<i>273</i>
<i>Figura 164 – Localização dos sete painéis levantados no talude da estrada Noninha – Serra de S. Pedro. ....</i>	<i>274</i>
<i>Figura 165 - Tipos de descontinuidade registadas no Painel 1. ....</i>	<i>275</i>
<i>Figura 166 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do Painel 1. ....</i>	<i>275</i>
<i>Figura 167 - Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades do Painel 1. ....</i>	<i>276</i>
<i>Figura 168 - Curvatura (a) e rugosidade (b) das descontinuidades do Painel 1.....</i>	<i>276</i>
<i>Figura 169 – Tipo de enchimento nas descontinuidades do Painel 1.....</i>	<i>276</i>
<i>Figura 170 - Diagramas de rosetas e contorno estrutural relativos ao Painel 1 .....</i>	<i>277</i>
<i>Figura 171 – Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do Painel 1. ....</i>	<i>277</i>
<i>Figura 172 – Aspecto geral do Painel 1, com destaque para uma falha com preenchimento de material argiloso, e georreferenciação do ponto inicial do Painel 1 com recurso a GPS.....</i>	<i>278</i>
<i>Figura 173 - Tipos de descontinuidade (a) e graus de alteração no Painel 2.....</i>	<i>279</i>
<i>Figura 174 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do Painel 2. ....</i>	<i>280</i>
<i>Figura 175 - Curvatura (a), enchimento (b) e presença de água (c) das descontinuidades do Painel 2. ....</i>	<i>280</i>
<i>Figura 176 - Diagramas de rosetas e de contorno estrutural relativos ao Painel 2 .....</i>	<i>281</i>
<i>Figura 177 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do Painel 2.....</i>	<i>281</i>
<i>Figura 178 – Aspecto da georreferenciação do final do Painel 2, onde se observam descontinuidades subverticais e sub-horizontais e aspecto do ensaio esclerométrico em descontinuidades. ....</i>	<i>282</i>
<i>Figura 179 - Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração nos Painéis 3 e 4.....</i>	<i>284</i>
<i>Figura 180 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades dos Painéis 3 e 4.....</i>	<i>284</i>
<i>Figura 181 - Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades dos Painéis 3 e 4.....</i>	<i>284</i>
<i>Figura 182 - Curvatura (a), enchimento (b) e presença de água (c) das descontinuidades dos Painéis 3 e 4....</i>	<i>285</i>

<i>Figura 183 - Diagramas de rosetas e de contorno estrutural relativos aos Painéis 3 e 4.....</i>	<i>285</i>
<i>Figura 184 - Resistência à compressão uniaxial nos painéis 3 e 4.....</i>	<i>286</i>
<i>Figura 185 – Aspecto de uma parte do Painel 3 onde a circulação de água é mais intensa e pormenor de uma descontinuidade com água gotejante.....</i>	<i>286</i>
<i>Figura 186 - Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração (b) registados no Painel 5.....</i>	<i>288</i>
<i>Figura 187 – Espaçamento médio das descontinuidades do Painel 5.....</i>	<i>289</i>
<i>Figura 188 - Diagramas de rosetas e de contorno estrutural relativos ao Painel 5.....</i>	<i>289</i>
<i>Figura 189 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do Painel 5.....</i>	<i>290</i>
<i>Figura 190 – Aspecto de um plano de falha registado no painel 5.....</i>	<i>292</i>
<i>Figura 191 - Tipos de descontinuidade registados no Painel 6.....</i>	<i>293</i>
<i>Figura 192 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do Painel 6.....</i>	<i>293</i>
<i>Figura 193 – Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades do Painel 6.....</i>	<i>294</i>
<i>Figura 194 – Tipo de enchimento das descontinuidades do Painel 6.....</i>	<i>294</i>
<i>Figura 195 - Diagramas de rosetas e contorno estrutural relativos ao Painel 6.....</i>	<i>294</i>
<i>Figura 196 – Aspectos da alteração do maciço e dos planos de falha registados no painel 6.....</i>	<i>296</i>
<i>Figura 197 – Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração (b) registados no Painel 7.....</i>	<i>297</i>
<i>Figura 198 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do Painel 7.....</i>	<i>297</i>
<i>Figura 199 – Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades do Painel 7.....</i>	<i>298</i>
<i>Figura 200 - Tipo de enchimento das descontinuidades do Painel 7.....</i>	<i>298</i>
<i>Figura 201 - Diagramas de rosetas e contorno estrutural relativos ao Painel 7.....</i>	<i>298</i>
<i>Figura 202 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do Painel 7.....</i>	<i>299</i>
<i>Figura 203 – Aspecto do ensaio esclerométrico nas descontinuidades do Painel 7 e pormenor de descontinuidades próximas (<math>F_{4-5}</math>), em maciço são a pouco alterado (<math>W_{1-2}</math>).....</i>	<i>301</i>
<i>Figura 204 – Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração (b) para a globalidade das descontinuidades da área da Noninha.....</i>	<i>302</i>
<i>Figura 205 – Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades da área da Noninha.....</i>	<i>302</i>
<i>Figura 206 – Continuidade (a) e terminação (b) das das descontinuidades da área da Noninha.....</i>	<i>303</i>
<i>Figura 207 – Curvatura (a), rugosidade (b) das descontinuidades da área da Noninha.....</i>	<i>303</i>
<i>Figura 208 – Enchimento (a) e presença de água (b) nas descontinuidades da área da Noninha.....</i>	<i>304</i>
<i>Figura 209 – Localização dos painéis de levantamento geológico-geotécnico na área da Noninha e diagramas de rosetas das descontinuidades.....</i>	<i>305</i>
<i>Figura 210 - Diagramas de rosetas e contorno estrutural relativos ao total de descontinuidades registadas na área da Noninha, com indicação das direcções das descontinuidades onde foi registada a presença de água (2) e de água gotejante (1).....</i>	<i>306</i>
<i>Figura 211 - Diagramas de rosetas e de contorno estrutural relativos à área da Noninha, para as estruturas do tipo falha.....</i>	<i>306</i>
<i>Figura 212 – Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades da área da Noninha.....</i>	<i>307</i>
<i>Figura 213 – Afloramentos rochosos de rocha granítica, na área da Noninha, identificados através de critérios fotogeológicos e geomorfológicos.....</i>	<i>310</i>
<i>Figura 214 - Perspectiva 3D da litologia, estrutura e grau de alteração do maciço da área da Noninha.....</i>	<i>311</i>
<i>Figura 215 - Lineamentos tectónicos na área da Noninha para os quadrantes Noroeste (a) e Nordeste (b).....</i>	<i>312</i>
<i>Figura 216 – Inventário hidrogeológico da área da Noninha.....</i>	<i>314</i>
<i>Figura 217 – Aspectos do inventário hidrogeológico da área da Noninha.....</i>	<i>315</i>
<i>Figura 218 – Aspecto da amostragem de água para análise físico-química e da fractura de atitude aproximada N10°W-80°NE, na Nascente da Urzela (PI12).....</i>	<i>317</i>

Figura 219 – Perfis geológicos sequenciais da área da Serra de S. Pedro.....	317
Figura 220 - Lineamentos tectónicos do quadrante NW (a) e do quadrante NE (b), e densidade de pontos de água (inventário hidrogeológico) da área envolvente à nascente de S. Pedro das Meadinhas. ....	318
Figura 221 - Espacialização do pH, condutividade eléctrica e temperatura na área da nascente de S. Pedro das Meadinhas. ....	319
Figura 222 – Localização pormenorizada dos furos sub-horizontais, junto à antiga nascente de S. Pedro das Meadinhas. ....	320
Figura 223 – Aspecto das amostras de FH2 logo após o final da furação (esquerda) e aspecto de amostra de zona fracturada em FH1 (direita). ....	321
Figura 224 – Aspecto de amostra de cristais de moscovite em FH2 (esquerda) e aspecto de possíveis cristais de clorite, vistos à lupa binocular com ampliação de 10x (direita). ....	321
Figura 225 – Aspectos construtivos do furo FH1: reinterpretação litológica, estrutural e mineralógica e grau de alteração. ....	322
Figura 226 - Aspectos construtivos do furo FH2: reinterpretação litológica, estrutural e mineralógica e grau de alteração. ....	322
Figura 227 – Localização dos pontos de amostragem para análise físico-química, na área da Noninha. ....	323
Figura 228 – Diagrama de Piper relativo aos oito pontos de amostragem da área da Noninha. ....	324
Figura 229 – Diagramas de Stiff relativos aos pontos de água amostrados na área da Noninha. ....	324
Figura 230 – Evolução do teor de cloretos nas captações FH1 e FH2. ....	325
Figura 231 - Valores de gás radão gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) e actividade $\alpha$ e $\beta$ , nas amostras de água da área da Noninha. ....	327
Figura 232 – Pontos de amostragem de águas para análises radiológicas na área da Noninha. ....	329
Figura 233 – Esboço hidrogeológico da área da Noninha. ....	332
Figura 234 – Índice de vulnerabilidade GOD, para as unidades hidrogeológicas da área da Noninha. ....	333
Figura 235 – Mapa da litologia e grau de alteração da área da Noninha. ....	335
Figura 236 - Mapa da densidade de lineamentos tectónicos da área da Noninha. ....	336
Figura 237 – Mapa da ocupação do solo da área da Noninha. ....	338
Figura 238 – Mapa da densidade da rede de drenagem da área da Noninha. ....	339
Figura 239 – Mapa de declives da área da Noninha. ....	340
Figura 240 – Mapa da precipitação média anual da área da Noninha. ....	341
Figura 241 – Potencial de infiltração da área da Noninha. ....	342
Figura 242 – Mapa hidrogeomorfológico da área da Noninha. ....	343
Figura 243 – Enquadramento topográfico da área das Termas de Entre-os-Rios. ....	348
Figura 244 – Aspecto geral da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios. ....	348
Figura 245 - Enquadramento regional da área de Entre-os-Rios. ....	350
Figura 246 – Esboço geológico regional da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios. ....	352
Figura 247 – Lineamentos tectónicos foto-interpretados, à escala regional, da área de Entre-os-Rios, para o quadrante NW (a) e NE (b). ....	354
Figura 248 - Esboço da geologia local das Termas de Entre-os-Rios, com indicação da localização das fotos da figura 249. ....	357
Figura 249 – Texturas das diferentes litologias na área das Termas de Entre-os-Rios. ....	358
Figura 250 - Lineamentos tectónicos na área de Entre-os-Rios para os quadrantes Noroeste (a) e Nordeste (b). ....	359
Figura 251 – Panorâmica geral da área das Termas de Entre-os-Rios (INATEL) e localização da Ribeira de Matos, Ribeira das Ardias e Furo AC2 – Barbeitos (adaptado de Google Earth Pro, 2009). ....	361

Figura 252 – Esboço geomorfológico regional da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios. ....	362
Figura 253 - Esboço geomorfológico de pormenor da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios.....	363
Figura 254 - Perfis topográficos sequenciais da área de Entre-os-Rios.....	364
Figura 255 - Principais direcções da rede hidrográfica na área de Entre-os-Rios, para os quadrantes Noroeste, NW (a) e Nordeste, NE (b). ....	364
Figura 256 - Localização das estações climatológicas analisadas, na área envolvente das Termas de Entre-os-Rios. ....	366
Figura 257 - Precipitação média mensal nas estações de Entre-os-Rios (INAG), Sobrado de Paiva, Penafiel e Luzim.....	367
Figura 258 - Diagrama termo-pluviométrico da estação climatológica de Luzim.....	368
Figura 259 - Balanço hidrológico sequencial mensal relativo à estação climatológica de Luzim.....	369
Figura 260 – Inventário hidrogeológico de campo da área das Termas de Entre-os-Rios.....	370
Figura 261 - Perfis geológicos sequenciais da área de Entre-os-Rios.....	374
Figura 262 – Perfil esquemático do Furo AC1 (adaptado de A.Cavaco, 1990). ....	375
Figura 263 – Perfil esquemático do Furo AC2 (adaptado de A.Cavaco, 1990). ....	375
Figura 264 – Lineamentos tectónicos do quadrante NW (a) e do quadrante NE (b), e densidade de pontos de água da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios. ....	377
Figura 265 - Espacialização do pH, condutividade eléctrica e temperatura na área de Entre-os-Rios. ....	377
Figura 266 – Gráfico da sulfuração das águas minerais portuguesas (segundo Ferreira da Silva, 1909).....	378
Figura 267 – Pontos de amostragem físico-química e radiológica, na área das Termas de Entre-os-Rios. ....	379
Figura 268 - Diagrama de Piper relativo aos pontos de amostragem de água mineral (vermelho) e normal (azul) da área das Termas de Entre-os-Rios.....	380
Figura 269 - Diagramas de Stiff representativos (valores médios) das águas minerais das Termas de Entre-os-Rios. ....	381
Figura 270 - Diagramas de Stiff representativos (valores médios) das águas normais da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios. ....	381
Figura 271 - Valores de gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) e actividade $\alpha$ e $\beta$ , nas amostras da área das Termas de Entre-os-Rios. ....	383
Figura 272 - Pontos de amostragem de águas para análises radiológicas na área das Termas de Entre-os-Rios. ....	384
Figura 273 – Mapa hidrogeológico da área das Termas de Entre-os-Rios. ....	386
Figura 274 - Índice de vulnerabilidade GOD, para as unidades hidrogeológicas da área de Entre-os-Rios. ....	387
Figura 275 – Mapa da litologia e grau de alteração da área das Termas de Entre-os-Rios.....	389
Figura 276 - Mapa da densidade de lineamentos tectónicos da área das Termas de Entre-os-Rios.....	390
Figura 277 – Mapa da ocupação do solo da área das Termas de Entre-os-Rios.....	392
Figura 278 – Mapa da densidade da rede de drenagem da área das Termas de Entre-os-Rios. ....	393
Figura 279 – Mapa de declives da área das Termas de Entre-os-Rios.....	394
Figura 280 – Mapa da precipitação média anual da área das Termas de Entre-os-Rios.....	395
Figura 281 – Potencial de infiltração da área das Termas de Entre-os-Rios.....	396
Figura 282 – Mapa hidrogeomorfológico da área das Termas de Entre-os-Rios. ....	398
Figura 283 – Aspecto do maciço da Serra da Gardunha, visto de Castelo Novo.....	400
Figura 284 - Enquadramento topográfico da área do Alardo (Castelo Novo).....	400
Figura 285 - Enquadramento regional da área das Águas do Alardo.....	402
Figura 286 - Esboço geológico regional de Castelo Novo, Fundão (adaptado e reinterpretado de Conde, 1983 e Oliveira et al., 1992). ....	403

<i>Figura 287 - Esboço geológico local da área do Alardo, com diagrama de rosetas dos lineamentos tectónicos fotointerpretados.....</i>	<i>405</i>
<i>Figura 288 - Lineamentos tectónicos na área do Alardo para os quadrantes Noroeste (a) e Nordeste (b).....</i>	<i>406</i>
<i>Figura 289 – Esboço geomorfológico regional da Serra da Gardunha e área envolvente. ....</i>	<i>408</i>
<i>Figura 290 - Perfis topográficos sequenciais da área do Alardo. ....</i>	<i>409</i>
<i>Figura 291 - Precipitação média mensal relativa ao período 1992-2004 (Alardo). ....</i>	<i>410</i>
<i>Figura 292 - Diagrama termopluviométrico para a região em estudo. ....</i>	<i>411</i>
<i>Figura 293 - Balanço hidrológico sequencial mensal relativo à estação climatológica do Fundão.....</i>	<i>411</i>
<i>Figura 294 - Inventário hidrogeológico realizado em 2005.....</i>	<i>414</i>
<i>Figura 295 - Estado actual dos furos de captação do Alardo (adaptado do arquivo Águas do Alardo, Lda. e de Carvalho, 2005; Carvalho, 2006).....</i>	<i>416</i>
<i>Figura 296 - Perfis geológicos sequenciais da área do Alardo.....</i>	<i>417</i>
<i>Figura 297 – Esquema construtivo típico das captações horizontais na área do Alardo (adaptado de Fundáguas, 1994). ....</i>	<i>418</i>
<i>Figura 298 – Esquema construtivo dos furos AC1 e FV1.....</i>	<i>418</i>
<i>Figura 299 - Lineamentos tectónicos do quadrante NW (a) e do quadrante NE (b), e densidade de pontos de água (inventário hidrogeológico) da área do Alardo. ....</i>	<i>419</i>
<i>Figura 300 – Espacialização do pH, condutividade eléctrica e temperatura na área do Alardo. ....</i>	<i>420</i>
<i>Figura 301 - Diagrama de Piper relativo aos pontos de amostragem de água na área do Alardo. ....</i>	<i>421</i>
<i>Figura 302 - Diagramas de Stiff representativo (valores médios) das captações de água na área do Alardo. ...</i>	<i>421</i>
<i>Figura 303 – Unidades hidrogeológicas da área envolvente do Alardo.....</i>	<i>423</i>
<i>Figura 304 - Índice de vulnerabilidade GOD, para as unidades hidrogeológicas da área do Alardo.....</i>	<i>425</i>
<i>Figura 305 – Mapa da litologia e grau de alteração da área do Alardo. ....</i>	<i>427</i>
<i>Figura 306 - Mapa da densidade de lineamentos tectónicos da área do Alardo. ....</i>	<i>428</i>
<i>Figura 307 – Mapa da ocupação do solo da área do Alardo. ....</i>	<i>429</i>
<i>Figura 308 – Mapa da densidade da rede de drenagem da área do Alardo. ....</i>	<i>430</i>
<i>Figura 309 – Mapa de declives da área do Alardo. ....</i>	<i>431</i>
<i>Figura 310 – Mapa da precipitação média anual da área do Alardo. ....</i>	<i>431</i>
<i>Figura 311 – Potencial de infiltração da área do Alardo.....</i>	<i>432</i>
<i>Figura 312 – Mapa hidrogeomorfológico da área do Alardo.....</i>	<i>433</i>
<i>Figura 313 – Tipos de modelos em geociências e, em particular, em estudos de geomorfologia aplicada (adaptado de Huggett, 2011).....</i>	<i>439</i>
<i>Figura 314 - Esboço hidrogeomorfológico e inventário hidrogeológico da área das Caldas da Cavaca. ....</i>	<i>446</i>
<i>Figura 315 - Esboço hidrogeomorfológico de pormenor e inventário hidrogeológico da área das Caldas da Cavaca. ....</i>	<i>447</i>
<i>Figura 316 – Potencial de infiltração calculado para os diferentes cenários e inventário hidrogeológico da área das Caldas da Cavaca. ....</i>	<i>449</i>
<i>Figura 317 – Modelo hidrogeológico conceptual da área das Caldas da Cavaca. ....</i>	<i>452</i>
<i>Figura 318 – Esboço hidrogeomorfológico e inventário hidrogeológico da área da Noninha.....</i>	<i>454</i>
<i>Figura 319 – Potencial de infiltração calculado para os diferentes cenários e inventário hidrogeológico da área da Noninha. ....</i>	<i>456</i>
<i>Figura 320 – Modelo hidrogeológico conceptual de pormenor da circulação de água na área da antiga nascente de S. Pedro das Meadilhas. ....</i>	<i>459</i>
<i>Figura 321 - Modelo hidrogeológico conceptual da área da nascente de S. Pedro das Meadilhas (Serra de S. Pedro).....</i>	<i>461</i>

---

<i>Figura 322 – Esboço hidrogeomorfológico e inventário hidrogeológico da área de Entre-os-Rios.</i> .....	464
<i>Figura 323 - Potencial de infiltração calculado para os diferentes cenários e inventário hidrogeológico da área de Ente-os-Rios.</i> .....	466
<i>Figura 324 - Modelo hidrogeológico conceptual da área de Entre-os-Rios.</i> .....	468
<i>Figura 325 - Esboço hidrogeomorfológico de pormenor e inventário hidrogeológico da área do Alardo.</i> .....	469
<i>Figura 326 - Potencial de infiltração calculado para os diferentes cenários e inventário hidrogeológico da área do Alardo.</i> .....	471
<i>Figura 327 -Modelo hidrogeológico conceptual da área do Alardo.</i> .....	473

## Índice de Quadros

<i>Quadro 1 - Resistência à compressão simples (segundo a ISRM, 1978b, 1981).</i> .....	39
<i>Quadro 2 - Parâmetros e métodos analíticos relativos às análises realizadas pelo INSA-Porto.</i> .....	43
<i>Quadro 3 - Escalas máximas de produtos fotográficos em função do tamanho efectivo do pixel no terreno. (adaptado de Richards, 1993).</i> .....	48
<i>Quadro 4 - Bandas de informação adquiridas pelo Satélite Landsat5 – Sensor Thematic Mapper (TM) (adaptado de Richards, 1993).</i> .....	50
<i>Quadro 5 - Escalas espaciais de aplicação dos MDT - Modelo Digital de Terreno (na nomenclatura anglo-saxónica designam-se por DEM - Digital Elevation Models) e principais fontes de dados topográficos para a sua geração (adaptado de Wilson &amp; Gallant, 2000).</i> .....	52
<i>Quadro 6 - Água subterrânea e comportamento das formações geológicas (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).</i> .....	74
<i>Quadro 7 - Valores de porosidade (n) para diversos tipos de rocha (adaptado de Freeze &amp; Cherry, 1979; Hiscock, 2005).</i> .....	85
<i>Quadro 8 – Aplicações e implicações dos estudos hidrogeomorfológicos em bacias de drenagem (simplificado de Gregory, 1979).</i> .....	111
<i>Quadro 9 – Síntese das designações e breve descrição da evolução do conceito de hidrogeomorfologia nos últimos 50 anos</i> .....	113
<i>Quadro 10 – Síntese dos principais factores que afectam o potencial de infiltração.</i> .....	118
<i>Quadro 11 - Termos do balanço hidrológico sequencial mensal relativos à estação climatológica de Aguiar da Beira</i> .....	190
<i>Quadro 12 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Talude dos Amores.</i> .....	196
<i>Quadro 13 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Talude dos Amores.</i> .....	197
<i>Quadro 14 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Talude da Capela.</i> .....	200
<i>Quadro 15 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Talude da Capela.</i> .....	201
<i>Quadro 16 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Talude da Lagoa.</i> .....	205
<i>Quadro 17 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Talude da Lagoa.</i> .....	206
<i>Quadro 18 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Talude da Cancela.</i> .....	210
<i>Quadro 19 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Talude da Cancela.</i> .....	211

---

Quadro 20 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos da área das Caldas da Cavaca. ....	216
Quadro 21 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos da área das Caldas da Cavaca. ....	217
Quadro 22 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos da área das Caldas da Cavaca, para as descontinuidades onde foi registada a presença de água.....	217
Quadro 23 – Síntese dos principais parâmetros do inventário hidrogeológico dos pontos de água da área das Caldas da Cavaca, Aguiar da Beira.....	221
Quadro 24 – Síntese dos principais elementos químicos detectados nas águas da área das Caldas da Cavaca, através da análise por ICP-MS (análise Actlabs, Canadá, em Abril de 2011).....	235
Quadro 25 – Concentrações de gás radão ( <sup>222</sup> Rn) e actividade $\alpha$ e $\beta$ nas águas da área das Caldas da Cavaca. ....	236
Quadro 26 - Unidades hidrogeológicas definidas para a área das Caldas da Cavaca.....	239
Quadro 27 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores litologia / grau de alteração e densidade de lineamentos tectónicos. ....	244
Quadro 28 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores ocupação do solo e densidade da rede de drenagem. ....	247
Quadro 29 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores declives e precipitação. ....	249
Quadro 30 - Termos do balanço hidrológico sequencial mensal relativos à estação climatológica de Bigorne ..	272
Quadro 31 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 1. ....	278
Quadro 32 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 1. ....	279
Quadro 33 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 2. ....	282
Quadro 34 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 2. ....	283
Quadro 35 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 3 e 4.....	287
Quadro 36 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos dos Painéis 3 e 4. ....	288
Quadro 37 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 5. ....	291
Quadro 38 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 5. ....	292
Quadro 39 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 6. ....	295
Quadro 40 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 6. ....	296
Quadro 41 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 7. ....	300
Quadro 42 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 7. ....	301
Quadro 43 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos globais da área da Noninha.....	308
Quadro 44 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos da globalidade das descontinuidades da área da Noninha. ....	309
Quadro 45 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos da globalidade das descontinuidades da área da Noninha onde foi registada a presença de água. ....	309
Quadro 46 - Quadro resumo dos pontos de água inventariados durante a campanha de campo .....	316
Quadro 47 - Síntese dos principais elementos químicos detectados nas águas da área da Noninha, através da análise por ICP-MS (análise Actlabs, Canadá, em Abril de 2011).....	326
Quadro 48 – Parâmetros registados <i>in situ</i> e concentrações de gás radão ( <sup>222</sup> Rn) e actividade $\alpha$ e $\beta$ nas águas da área Noninha.....	327

---



---

Quadro 49 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores litologia / grau de alteração e densidade de lineamentos tectónicos.....	334
Quadro 50 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores ocupação do solo e densidade da rede de drenagem.....	337
Quadro 51 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores declives e precipitação.....	340
Quadro 52 - Dados climatológicos utilizados na caracterização climática local, da área das Termas de Entre-os-Rios.....	365
Quadro 53 - Termos do balanço hidrológico sequencial mensal relativos à estação climatológica de Luzim.....	368
Quadro 54 - Quadro resumo dos pontos de água inventariados durante a campanha de campo (cf. Figura 151 e anexo 7).....	371
Quadro 56 - Síntese dos principais elementos químicos detectados nas águas da área da Noninha, através da análise por ICP-MS (análise Actlabs, Canadá, em Abril de 2011).....	382
Quadro 57 – Concentrações de gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) e actividade $\alpha$ e $\beta$ nas águas da área das Termas de Entre-os-Rios.....	382
Quadro 58 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores litologia / grau de alteração e densidade de lineamentos tectónicos.....	388
Quadro 59 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores ocupação do solo e densidade da rede de drenagem.....	391
Quadro 60 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores declives e precipitação.....	394
Quadro 61 - Valores da precipitação média mensal relativos ao período 1992-2004 (Alardo).....	410
Quadro 62 - Termos do balanço hidrológico sequencial mensal relativos à estação climatológica do Fundão ..	412
Quadro 63 - Quadro resumo de 15 dos 26 pontos de água inventariados durante a campanha de campo.....	413
Quadro 63 - Unidades hidrogeológicas locais da área do Alardo.....	424
Quadro 64 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores litologia / grau de alteração e densidade de lineamentos tectónicos.....	426
Quadro 65 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores ocupação do solo e densidade da rede de drenagem.....	429
Quadro 66 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores declives e precipitação.....	430
Quadro 67 – Factores e pesos específicos considerados nos diferentes cenários de cálculo do potencial de infiltração testados na área das Caldas da Cavaca.....	448
Quadro 68 - Factores e pesos específicos considerados nos diferentes cenários de cálculo do potencial de infiltração testados na área da Noninha.....	455
Quadro 69 - Factores e pesos específicos considerados nos diferentes cenários de cálculo do potencial de infiltração testados na área de Entre-os-Rios.....	465
Quadro 70 - Factores e pesos específicos considerados nos diferentes cenários de cálculo do potencial de infiltração testados na área do Alardo.....	470
Quadro 71 – Proposta de factores e pesos específicos na avaliação do potencial de infiltração.....	475
Quadro 72 – Síntese dos principais factores com influência na recarga / descarga, identificados nos sectores de estudo.....	476

---

## Índice de Equações

<i>Equação 1 – Lei de Darcy</i> .....	87
<i>Equação 2 – Generalização da Lei de Darcy</i> .....	88
<i>Equação 3 – Definição de Transmissividade (T)</i> .....	88
<i>Equação 4 – Cálculo da densidade de lineamentos</i> .....	120

## Índice de Anexos

Anexo 1 - Catálogo de águas termais do espaço SUDOE (Projecto TERMARED).

Anexo 2 – Fichas de levantamento geológico e hidrogeotécnico da área das Caldas da Cavaca.

Anexo 3 – Fichas de inventário hidrogeológico da área das Caldas da Cavaca.

Anexo 4 – Perfis esquemáticos das sondagens de pesquisa de água subterrânea realizadas na área das Caldas da Cavaca.

Anexo 5 – Fichas de levantamento geológico e hidrogeotécnico da área da Noninha.

Anexo 6 – Fichas de inventário hidrogeológico da área da Noninha.

Anexo 7 – Fichas de inventário hidrogeológico da área de Entre-os-Rios.

Anexo 8 – Fichas de inventário hidrogeológico da área do Alardo.

Anexo 9 – Perfis esquemáticos das sondagens de pesquisa de água subterrânea realizadas na área do Alardo.

---

***Parte 1***



---

## **1. Introdução Geral**



---

# 1. Introdução Geral

## 1.1. Considerações iniciais

O projecto de investigação conducente à presente dissertação pretende constituir um contributo para o papel da geomorfologia aplicada à gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, em áreas consideradas chave, nas regiões Norte e Centro de Portugal e do Sul da Galiza. Além disso, com o emprego das tecnologias ligadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), procurou-se também dar um enfoque às implicações destes estudos no ordenamento do território relacionados com os recursos hídricos. Dar-se-á ainda ênfase a uma abordagem multidisciplinar nos domínios da geologia e geomorfologia estrutural, da hidrologia (nomeadamente, na sua componente subterrânea, *i.e.*, hidrogeologia ou hidrologia subterrânea ou hidrologia de águas subterrâneas ou geohidrologia; De Wiest, 1965; Castany, 1967, 1982; Custodio & Llamas, 2001) e da cartografia aplicada (em particular, detecção remota, fotogeologia, cartografia SIG...).

Os estudos de cartografia hidrogeomorfológica e hidrogeológica representaram um papel fundamental no trabalho desenvolvido e mesmo a sua integração em estudos geoambientais complexos e multidisciplinares (*e.g.*, Tricart et al., 1965; Cloots-Hirsch & Tricart, 1978; Yin & Brook, 1992; Thomas et al., 1999; Salama, 2005; Kudrna & Šindelářová, 2006; Yeh et al., 2009; Teixeira et al., 2010a). Estes estudos permitirão melhorar o conhecimento sobre o papel que os processos geomórficos e geomorfológicos estruturais desempenham na recarga/descarga das unidades aquíferas e na circulação da água subterrânea nos maciços rochosos fracturados.

De facto, no início dos trabalhos desta dissertação, verificou-se a necessidade de realizar e aprofundar estudos de geomorfologia aplicada às águas subterrâneas ou, na terminologia mais actual, numa área científica emergente denominada por *Hidrogeomorfologia* (*e.g.*, Tricart, 1963; Scheidegger, 1973; Cloots-Hirsch & Tricart, 1978; Dunne & Leopold, 1978; Gregory, 1979; Okunishi, 1994; Sidle & Onda, 2004; Babar, 2005), fazendo a sua ligação aos recursos hídricos subterrâneos, no sentido de apoiar os estudos de prospecção/pesquisa e avaliação hidrogeológica deste importante e vital georrecurso, que é a água subterrânea.

---

## 1.2. Objectivos

O objectivo geral desta investigação assenta no desenvolvimento metodológico conducente à elaboração de cartografia hidro-temática (especialmente hidrogeológica, hidrogeomorfológica, hidrogeotécnica,...) a diferentes escalas, em áreas-chave do NW Peninsular. Pretendeu-se, ainda, desenvolver uma Base de Dados Geográfica e Hidrológica associada a um projecto SIG aplicado aos recursos hídricos subterrâneos, assim como avaliar o contributo que os resultados obtidos podem desempenhar no ordenamento do território.

Como objectivos complementares consideramos os seguintes, a saber:

- aprofundar o conhecimento da hidrogeomorfologia no substrato cristalino do NW Peninsular;
- elaborar cartografia hidrogeomorfológica e hidrogeológica, a diversas escalas, em áreas-chave onde se localizam relevantes ou potenciais pólos hidrominerais: sectores de Aguiar da Beira/Arouca/Penafiel e sector da Serra da Gardunha.
- criação e desenvolvimento de Bases de Dados Geográficas e Hidrológicas com interesse para o projecto em questão (e.g., cartografia de base, Cartografia temática, hidroclimatologia, inventário hidrogeológico de campo, estudos geológicos de fracturação da compartimentação de maciços...);
- ensaio de metodologia(s) a aplicar na caracterização e nos estudos de hidrogeomorfologia em ambientes geodinâmicos complexos, com constrangimentos topográficos, demográficos e ambientais contrastantes (e.g., sistemas montanhosos vs. ambientes peri-urbanos)
- demonstrar a importância que o contributo da hidrogeomorfologia assume no desenvolvimento de modelos hidrogeológicos conceptuais, melhorando o entendimento da interacção hidrológica superficial com a circulação hidráulica subterrânea, e como estas interagem, sobretudo, com a rede de fracturação, o grau de alteração do maciço rochoso e a topografia, de forma a constituir as bases de uma proposta para uma modelação conceptual hidrogeomorfológica;
- criação e desenvolvimento de um projecto SIG, estruturado de maneira a permitir o cruzamento e síntese da informação cartográfica, bem como a criação de mapas temáticos que possam servir como documentos de apoio na tomada de decisão e ser usados pelas entidades gestoras dos recursos hídricos subterrâneos (e.g., Proprietários, Directores Técnicos, Câmaras Municipais, Comissões de Coordenação, Administrações de Região Hidrográfica, Direcção-Geral de Energia e Geologia, entre outros).



---

### 1.3. Áreas de estudo

As áreas de estudo localizam-se no Maciço Antigo Peninsular (e.g., Carvalho, 1996; Marques, 1999; Calado, 2001; Lima, 2001; Carvalho et al., 2005a; Carvalho, 2006; Carvalho & Chaminé, 2007; Espinha Marques, 2007; Afonso, 2011), mais concretamente em sistemas hidrominerais pertencentes a contextos geodinâmicos complexos no Norte e Centro de Portugal, quer em ambiente montanhoso de baixa densidade populacional, quer em ambiente peri-urbano (figura 1).

Assim, foram definidos dois grandes sectores de estudo, no seio dos quais foram definidas áreas-piloto, que foram alvo da aplicação das técnicas e metodologias, que se expõem no capítulo seguinte, a saber:

- **Sector de Aguiar da Beira/Arouca/Penafiel:**
  - O Pólo das Caldas da Cavaca (Aguiar da Beira) corresponde a uma área estudada com cerca de 16 km<sup>2</sup>, localizado no Concelho de Aguiar da Beira (Distrito da Guarda), onde emergem, junto às margens da Ribeira de Coja, as Águas Minerais sulfúreas das Caldas da Cavaca;
  - O Pólo da Noninha (Alvarenga, Arouca) corresponde a uma área estudada de 20 km<sup>2</sup>, situado no extremo NE do Concelho de Arouca (Distrito de Aveiro), onde, em plena Serra de Montemuro, ocorrem as Águas de Arouca (água de nascente);
  - O Pólo de Entre-os-Rios, localizado no Concelho de Penafiel (Distrito do Porto), corresponde a uma área estudada de 30 km<sup>2</sup>, localizada em redor das Águas Minerais sulfúreas de Entre-os-Rios;
- **Sector da Serra da Gardunha (Castelo Novo, Fundão):**
  - O Pólo do Alardo (Castelo Novo, Fundão) corresponde a uma área aproximada de 8 km<sup>2</sup>, junto à povoação de Castelo Novo, no Concelho do Fundão (Distrito de Castelo Branco), onde ocorrem as Águas do Alardo.

No Noroeste Peninsular foram identificadas e inventariadas (no âmbito do projecto INTERREG IV-B-SUDOE TERMARED (2009/2011) desenvolvido no Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), onde o signatário colaborou como investigador) uma série de nascentes de águas normais, de águas minerais gasocarbónicas e de águas minerais sulfúreas. Serão abordadas, de uma forma preliminar, a propósito da ocorrência de recursos hidrominerais no NW Peninsular (capítulo 4), duas áreas-piloto com cerca de 40 km<sup>2</sup> cada uma, nas margens do Rio Minho/Rio Miño em pleno território galaico-português e no Vale do Douro. Apresentar-se-ão os exemplos dos potenciais pólos do Angueiro e da Azenha/Poço Quente (TERMARED, 2011).

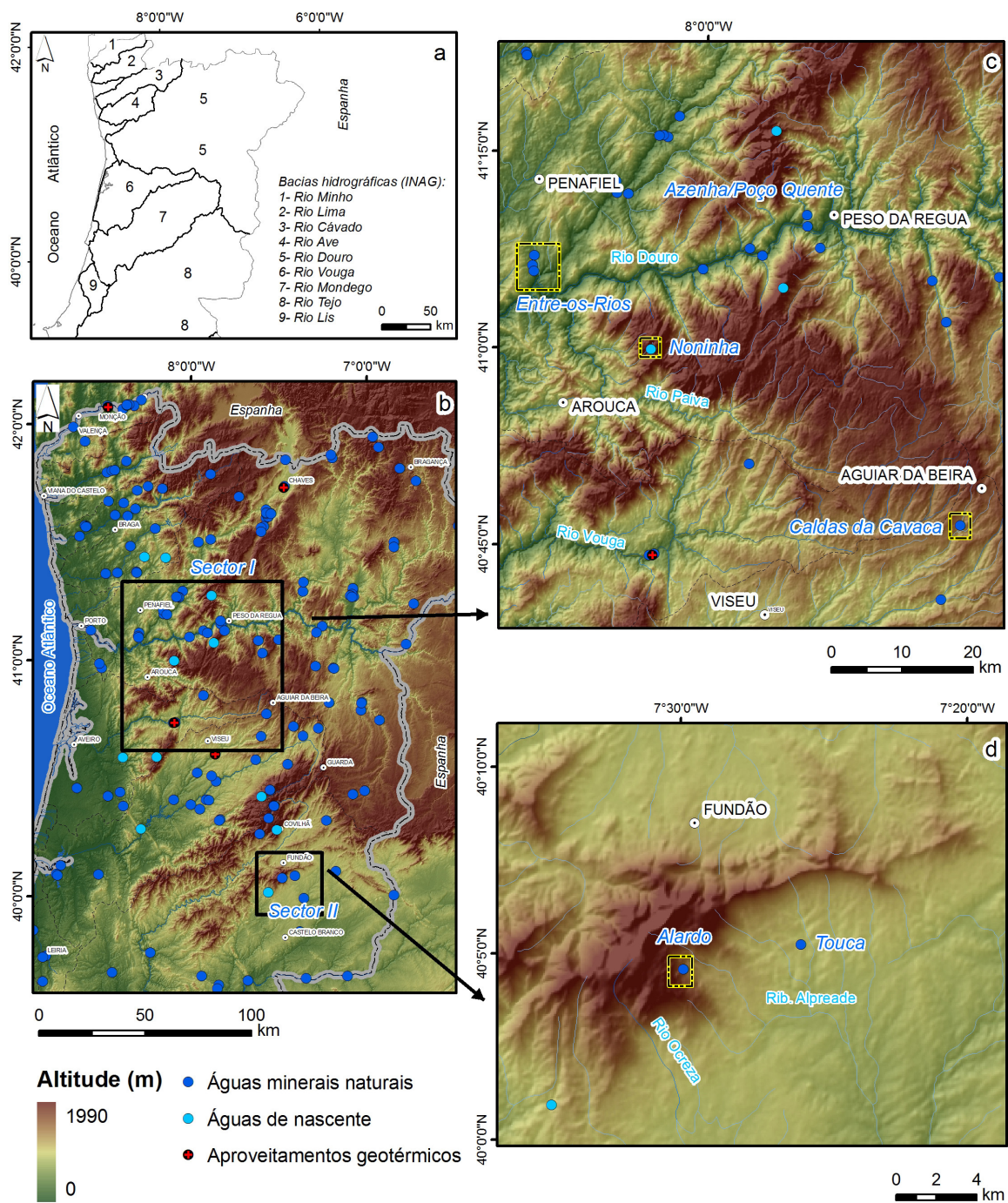


Figura 1 – Localização dos sectores e pólos do presente estudo: a) bacias hidrográficas da região Norte e Centro de Portugal; b) enquadramento geral; c) Sector de Aguiar da Beira/Arouca/Penafiel; d) Sector da Serra da Gardunha.

---

## 1.4. Estrutura da investigação

A presente dissertação está organizada e estruturada em três partes fundamentais, as quais se encontram divididas em capítulos.

A primeira parte (Parte I) é composta por 3 capítulos: o presente capítulo introdutório, onde se explana o âmbito, os principais objectivos e a estratégia geral seguida na investigação; um segundo capítulo, onde se descrevem os materiais, os métodos e as técnicas usadas no trabalho e, por fim, o capítulo 3 que apresenta uma síntese das principais noções associadas à hidrogeologia de rochas duras fracturadas, a evolução do conceito hidrogeomorfologia e a discussão da sua validade no apoio aos estudos de prospecção/pesquisa de águas subterrâneas em rochas cristalinas fracturadas.

A segunda parte (Parte II) alberga 2 capítulos: o capítulo 4 que apresenta os traços gerais da climatologia, da geologia, da geomorfologia e da hidrogeologia do NW Peninsular, em particular o Norte de Portugal e o Sul da Galiza; o capítulo 5 que reporta os três sectores de estudo e os vários pólos-chave estudados, em que se abordam os diversos aspectos fundamentais distintivos, desde o enquadramento local à apresentação e discussão dos resultados obtidos através das investigações desenvolvidas no terreno e no gabinete.

A terceira e última parte (Parte III) inclui os capítulos 6 e 7. O capítulo 6 apresenta uma discussão geral sobre a modelação hidrogeológica conceptual e o papel da hidrogeomorfologia na sua elaboração, bem como a proposta da conceptualização hidrogeomorfológica para cada pólo estudado, enquanto que o capítulo 7 evidencia as principais conclusões resultantes das investigações desenvolvidos no decurso desta dissertação e aponta uma série de perspectivas futuras de investigação.

A presente investigação beneficiou da bolsa de doutoramento financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT|SFRH/BD/29762/2006), através da instituição de acolhimento principal – o Centro GeoBioTec|UA (Grupo de Georrecursos, Geotecnia e Geomateriais) da Universidade de Aveiro. Recebeu ainda apoio, como instituições de acolhimento para estágios avançados, através do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA) do Departamento de Engenharia Geotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), do Departamento de Geografia da Universidade de Santiago de Compostela, do Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, e do Laboratório de Radioactividade Natural da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

A investigação enquadra-se ainda no PEst-C/CTE/UI4035/2011 (Projecto Estratégico-UI 4035-2011/2012) do Centro GeoBioTec|UA, e, em parte, no projecto HIMOCATCH (“Role of high mountain areas in catchment water resources Northern/Central Portugal”; FCT|POCTI/CTA/44235/02) e nos projectos europeus HydroSPOT (“Morphotectonic,

---

hydrogeomorphologic and hydrogeological mapping of Northwestern Portugal using SPOT images: a contribution to the implementation of good practices on territory planning and management of groundwater resources”) da ‘European Space Agency’ (FLUP/ISEP/USC|ESA-ID5750) e TERMARED – INTERREG IV-B-SUDOE (“Red de Cooperación para el desarrollo termal en el SUDOE / Réseau de Coopération pour le développement dans le SUDOE / Rede de Cooperação para o desenvolvimento Termal no SUDOE”; SOE1/P1/E218) desenvolvido no LABCARGA|ISEP e Xunta de Galicia. O estudo de todos os sectores só foi possível graças ao apoio logístico e à partilha de dados pelas empresas TARH – Terra, Ambiente e Recursos Hídricos Lda, da Fundação INATEL / Termas de Entre-os-Rios, da DrinkIn Companhia de Indústria de Bebidas e Alimentação SA / Águas do Alardo, da JAPP – Imobiliária e Investimentos Industriais Lda / Águas de Arouca, da Câmara Municipal de Aguiar da Beira / Caldas da Cavaca, bem como do apoio analítico prestado pelo Laboratório de Radioactividade Natural da Universidade de Coimbra e pelo Centro de Geologia da Universidade de Lisboa.

---

## **2. Métodos e Técnicas**



---

## 2. Métodos e Técnicas

### 2.1. Trabalho de campo

Nos pontos seguintes descreve-se, genericamente, as técnicas e as metodologias usadas no trabalho de campo e no tratamento dos dados em gabinete, para os diversos sectores de estudo.

#### 2.1.1. Cartografia geológica e geomorfológica de pormenor

Relativamente à cartografia, foi necessária a recolha inicial de um conjunto de documentos de base, que serviram de apoio quer à construção dos mapas temáticos, quer aos levantamentos de pormenor, destacando-se:

- cartas topográficas da “Carta Militar de Portugal”, à escala 1/25.000, Série M888, as seguintes folhas: 124 – Marco de Canaveses (IGeoE, 1997b); 135 – Castelo de Paiva (IGeoE, 1999c); 145 – Nespereira, Cinfães (IGeoE, 1998), 146 – Tendais, Cinfães, (IGeoE, 1997a); 168 – Queiriga, V. N. Paiva (IGeoE, 1999b) e 256 – Alpedrinha, Fundão (IGeoE, 1999a);
- cartas geológicas e tectónicas gerais a várias escalas: Carta Geológica à escala 1/50.000 [folhas 1-B: Monção (Moreira & Ribeiro, 1985); 9-D: Penafiel (Medeiros et al., 1981); 10-C: Peso da Régua (Teixeira et al., 1967); 13-B: Castelo de Paiva (Medeiros & Teixeira, 1963); 14-A: Lamego (Teixeira et al., 1968); 14-D: Aguiar da Beira (Teixeira et al., 1972)]; Carta Geológica de Portugal à escala 1/200.000 [Folha 1 (Pereira et al., 1989) e Folha 2 (Pereira et al., 2001)] e 1/500.000 (Oliveira et al., 1992), Mapa de Fracturas de Portugal (Conde, 1983); Carta Tectónica de Portugal à escala 1/1.000.000 (Ribeiro et al., 1972) e Carta Neotectónica de Portugal (Cabral & Ribeiro, 1988; 1989);
- Carta Geomorfológica de Portugal, à escala 1/1.000.000 (D. Brum Ferreira, 1981b)
- Carta hidrogeológica de Portugal, Folha 1, à escala 1/200.000 (Pedrosa, 1998; Pedrosa, 1999);
- Cartas temáticas, à escala 1/1.000.000, do Atlas do Ambiente Digital – Instituto do Ambiente, de diversas datas;
- Ortofotomapas e fotografia aérea (Instituto Geográfico Português), a diversas escalas;
- Imagens de satélite, a diversas escalas, datas e resoluções, provenientes de vários sensores, nomeadamente: Landsat TM, Landsat 7 ETM+, SPOT;

- 
- Outras informações cartográficas, cedidas pelas Câmaras Municipais, concessionários ou outras instituições, que se consideraram importantes para o presente estudo.

Após a recolha da cartografia de base, construíram-se uma série de mapas de síntese (especialmente às escalas 1/50.000 e 1/25.000), que apoiaram a fase de reconhecimento e os levantamentos de pormenor subsequentes, efectuados nos diferentes pólos hidrominerais em análise.

Os levantamentos de pormenor serviram para complementar cartografia geológica publicada, bem como para refinar o traço cartográfico dos limites geológicos e confirmar a existência e localização de elementos estruturais importantes (e.g. descontinuidades, falhas, filões, faixas de alteração, estruturas geológicas). Nesse sentido, efectuaram-se uma série de reconhecimentos de campo nos diversos pólos em estudo, assinalados e georreferenciados com GPS de alta precisão nas minutas de campo. Todos os elementos considerados importantes para o refinamento da cartografia geológica e geomorfológica foram devidamente assinalados, georreferenciados e fotografados. No entanto, este trabalho foi dificultado, por vezes, pela escassez de bons cortes na rede de estradas, caminhos e afloramentos em alguns dos sectores estudados, como também pela mancha vegetal densa ou ocupação do solo por infraestruturas que frequentemente cobrem as formações rochosas.

### **2.1.2. A técnica da amostragem linear para estudos do grau de fracturação do maciço rochoso**

A técnica de amostragem linear aplicada às descontinuidades existentes em superfícies expostas dos maciços rochosos, através de uma cartografia por domínios ou áreas representativas do maciço rochoso, está amplamente descrita, entre outros, por Priest & Hudson (1981), Priest (1993), Chaminé & Gaspar (1995), Dinis da Gama (1995), CFCHF (1996), Hudson & Harrison (2000), Peacock et al. (2003), Brady & Brown (2004), Greco & Sorriso-Valvo (2005), Teixeira et al. (2007) e Scesi & Gattinoni (2009). Com o recurso a esta técnica, recolhem-se dados de forma expedita, ao longo de linhas de amostragem representativas (*scanline* ou *scanline grids*), que permitem, por extrapolação, definir o grau de alteração, o grau de compartimentação e o grau de resistência do maciço de uma dada área em estudo. A sua aplicação minimiza muitos erros patentes em estudos de fracturação de maciços rochosos, seja pela falta de representatividade ou aleatoriedade da sua amostragem (e.g., Terzaghi, 1965; Priest, 1993; Baddeley et al., 2004). Na impossibilidade, do ponto de vista prático, de se estudar exaustivamente a compartimentação do maciço rochoso na totalidade do território relativo a uma dada área de estudo, opta-se, em regra,



por realizar essas investigações mediante uma amostragem que seja representativa de todo o maciço.

A técnica de amostragem linear consiste, basicamente, na colocação de uma fita graduada (em metros) nos taludes/afloramentos rochosos (tomam a designação de painéis) a serem cartografados, aproximadamente a 1,20 - 1,50 m do solo (Chaminé & Gaspar, 1995). Para cada talude (ou painel) cartografado, depois de colocada a fita graduada a partir do ponto de origem de cada linha de amostragem, são cartografadas de forma sistemática todas as superfícies expostas do maciço e registado, através de uma cartografia de painéis, as características (especialmente geológicas, geotécnicas, geomecânicas) de todas as descontinuidades intersectadas pela fita graduada (figura 2). Cada ponto de amostragem (denominado por *estação geológica*) é descrito e registado em fichas de levantamento basedas na proposta da ISRM, 1981, relativa à descrição geotécnica de maciços rochosos com a denominação de “Basic Geotechnical Description of Rock Masses” (BGD). Todavia, há novos desenvolvimentos na aplicação deste técnica, recorrendo-se à aplicação de sistemas de informação geográfica e técnicas avançadas de geoposicionamento global de alta precisão (e.g., Reid & Harrison, 2000; Slob et al., 2004).

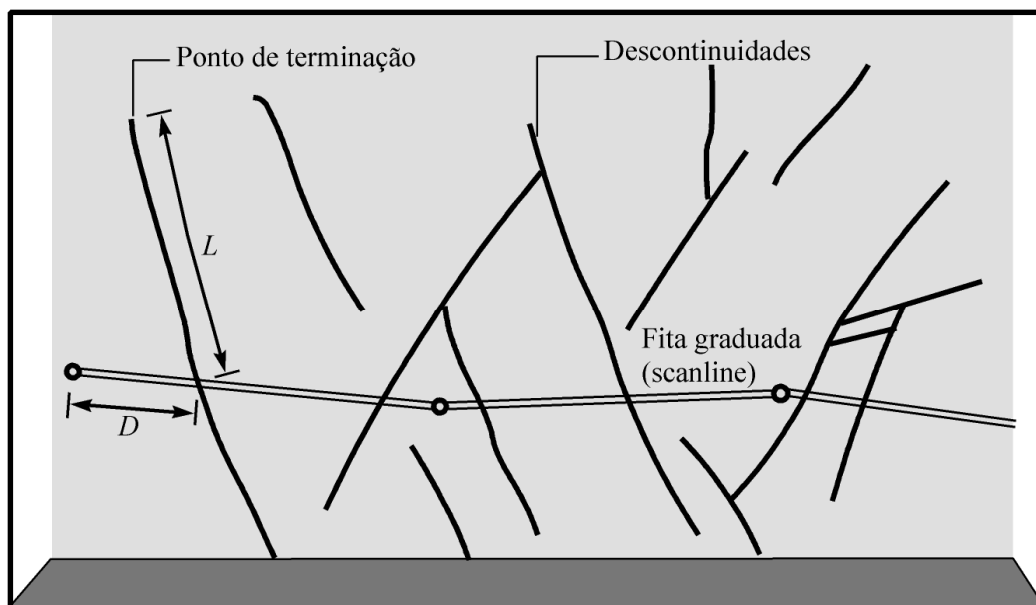


Figura 2 - Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear (adaptado de Brady & Brown, 2004). D – distância à origem da fita; L – semi-comprimento exposto.

Para cada descontinuidade que intersecta a linha de amostragem registam-se os seguintes parâmetros (ISRM, 1978b; 1981; 2007; Brady & Brown, 2004)(figura 3):

- D: distância à origem da fita graduada;

- L: semi-comprimento exposto, ou seja, o comprimento visível da intersecção da descontinuidade com a face de rocha, apenas para um dos lados da fita graduada;
- T: tipo de terminação que apresenta a extremidade da descontinuidade (R: na rocha; D: noutra descontinuidade; O: obscura);
- Atitude da descontinuidade (direcção/inclinação) medida junto ao ponto de intersecção da linha de amostragem com a descontinuidade;
- C: curvatura, numa escala de C1 a C5, em que C1 representa superfícies planas e C5 superfícies muito curvas;
- R: rugosidade, numa escala de R1 a R5, significando R1 uma superfície lisa e R5 uma superfície muito rugosa.

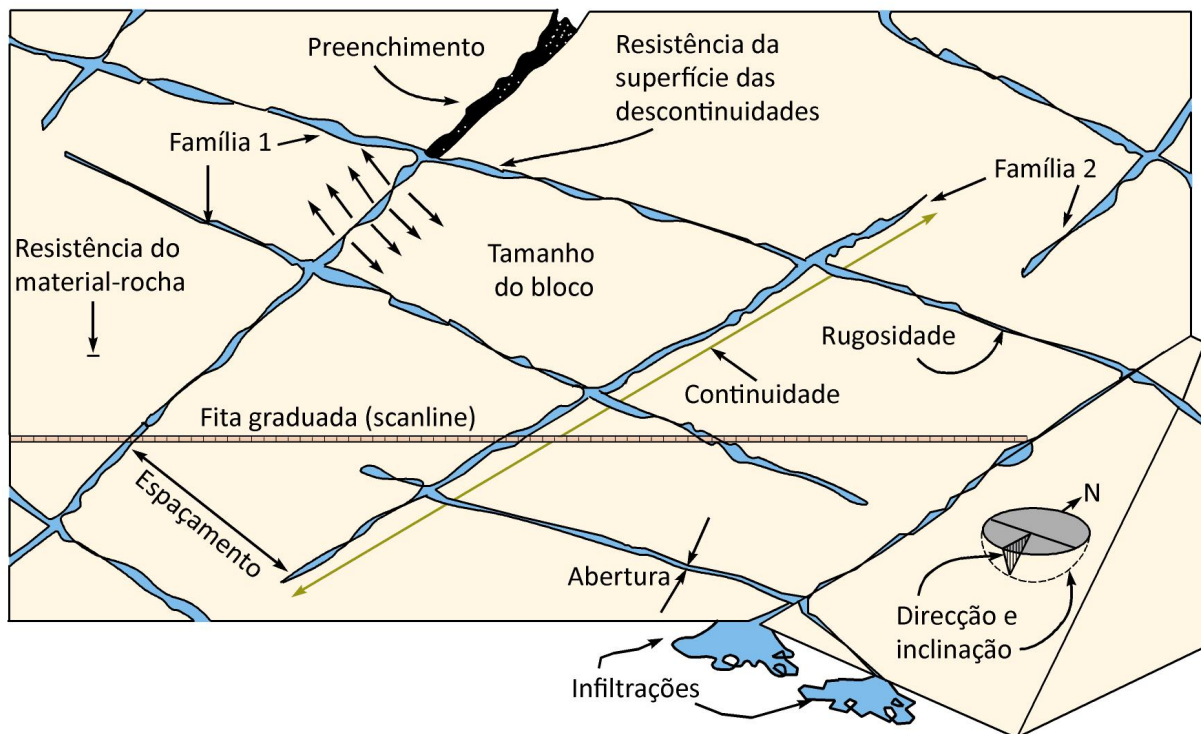


Figura 3 - Os principais parâmetros geológico/geotécnicos medidos para a caracterização de um maciço rochoso (adaptado de Hudson & Harrison, 2000).

Além destes parâmetros, são registados, sempre que se considera relevante, outras características das descontinuidades, tais como abertura, tipo de preenchimento, presença de água ou outras observações complementares (figura 3).

Todos os dados respeitantes a cada linha de amostragem são devidamente registados numa ficha de levantamento de descontinuidades na qual constam, além dos parâmetros já mencionadas, os seguintes:

- número da linha de amostragem;

- localização da linha de amostragem;
- atitude da linha de amostragem;
- direcção do hasteal (ou talude) estudado;
- litologia;
- grau de alteração;
- data do levantamento;
- rubrica do responsável pelo levantamento.

A figura 4 apresenta a ficha-tipo de levantamento geológico-geomecânico de campo, usada durante a aplicação da técnica de amostragem linear.

FICHA DE LEVANTAMENTO GEOLÓGICO-GEOMECÂNICO Técnica de Amostragem Linear (Scanline)																																																					
ORIENTAÇÃO: da "scanline": _____												UNIDADE GEOLÓGICA: _____												LOCALIZAÇÃO: _____																													
ALTURA À "SCANLINE"/SOLO (m): _____												DATA: _____																																									
DESCONTINUIDADE NÚMERO	DISTÂNCIA À ORIGEM (D) (m)	LITOLOGIA	TIPO DECONTINUIDADE		ATITUDE		GRAU DE ALTERAÇÃO		GRAU DE FRACTURAÇÃO					ABERTURA			TIPO DE ENCHIMENTO		RUGOSIDADE		CONTINUIDADE		TERMINAÇÃO		CURVATURA		PRESEÇA DE ÁGUA		OBSERVAÇÕES																								
			Falha	Dilatase	N	E	V1-W3N4	F1	F2	F3	F4	F5	Fechada	Aberta	Muito Aberta	Quil	Argila	R1,2	R3	R4,5	c1	c2	R	D	C1,2	C3,4	Não	Sim																									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54

Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos segundo a ISRM (1978, 1981, 2007), GSE (1995)

Figura 4 – Ficha-tipo de levantamento geológico-geomecânico de campo, usada durante a aplicação da técnica de amostragem linear.

Para a síntese e tratamento dos inúmeros dados cartografados no terreno foram usadas as bases de dados dinâmicas dos parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos, denominadas ScanGeoData|BGD e SchmidtData|UCS (Fonseca et al., 2010, Galiza et al., 2011 e referências citadas). Estas permitem efectuar um cruzamento exaustivo de toda a informação e a interpretação de todos os geo-dados de modo a apoiar o estabelecimento da compartimentação dos maciços e modelos conceptuais (figura 5).

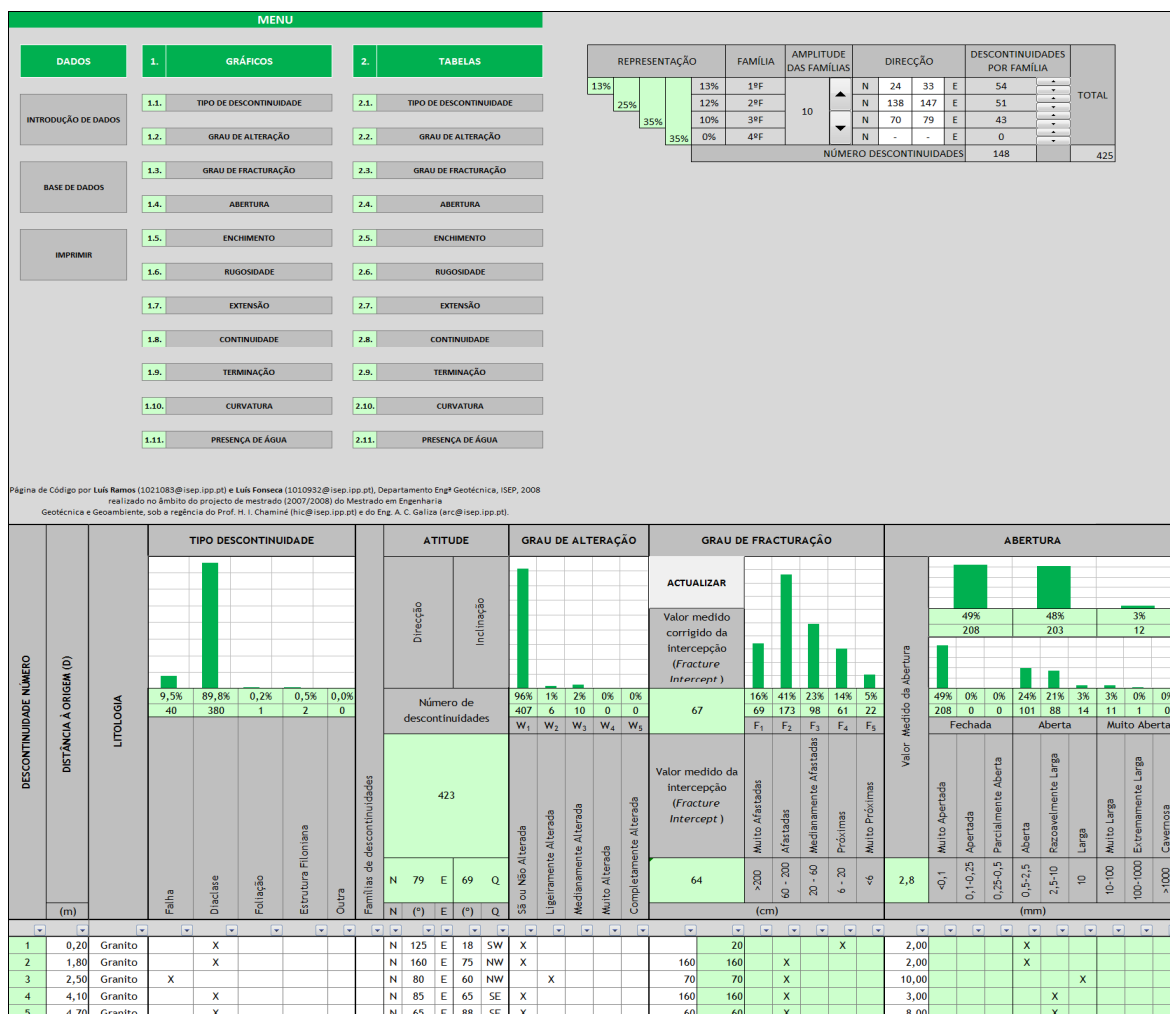


Figura 5 – Exemplo de aplicação da base de dados ScanGeoData|BGD desenvolvida para maciços rochosos fracturados (Fonseca et al., 2010).

### 2.1.3. Ensaios geomecânicos *in situ*: o esclerómetro portátil

Durante os trabalhos de campo realizados no âmbito desta dissertação, foram efectuados ensaios geomecânicos *in situ*, nomeadamente com o objectivo de determinar o grau de alteração/resistência do maciço rochoso.

Como tal, foi utilizado o esclerómetro portátil (vulgarmente conhecido em engenharia por Martelo de Schmidt), com o qual se efectuou uma avaliação da resistência mecânica do material-rocha à compressão uniaxial simples.

A determinação da resistência à compressão uniaxial é feita, em geral, a partir de ensaios de laboratório ou de campo (e.g., ISRM, 1978a, 1978b, 1981; Katz et al., 2000; Al-Harhi, 2001; ASTM, 2001; Kahraman, 2001; Kahraman et al., 2002; Goudie, 2006). O esclerómetro portátil foi desenvolvido nos finais da década de 1940 (Schmidt, 1951), para testes não destrutivos em betão, começando a ser usado na caracterização de materiais rochosos a

---

partir de 1960 (Nichols Jr, 1980; Cargill & Shakoor, 1990; Aydin & Basu, 2005; Aydin, 2009). Com o martelo de Schmidt poderemos obter o “valor de Schmidt” (ou “dureza de Schmidt”), a partir do Ressalto ou “Rebound” (R), que, por sua vez, poderá ser transformado no índice de resistência à compressão uniaxial (UCS) do material-rocha.

O esclerómetro portátil tem sido também muito utilizado em estudos de geomorfologia (e.g., Blanco Chao et al., 2006; Goudie, 2006; Teixeira et al., 2007; Viles et al., 2011). Os valores obtidos com este dispositivo podem constituir uma pista extremamente valiosa para o estudo do grau de alteração/resistência dos maciços rochosos, na definição de superfícies geomorfológicas com características geomecânicas semelhantes, bem como para o estudo da comparação e correlação litológica de materiais rochosos.

O esclerómetro portátil consiste, em traços gerais, num aparelho que permite um ensaio de campo que avalia a dureza do material-rocha através da medição do ressalto de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície da rocha. O pistão, que está incorporado no martelo, encontra-se solidário com uma mola de carga, sendo automaticamente libertado na sua câmara após o impacto. Logo, parte da energia do pistão é consumida por absorção (i.e., deformação plástica do material rochoso) e transformação (sob forma de calor e som). A energia remanescente representa a resistência ao impacto de penetração de uma dada superfície estrutural. Quanto mais resistente for uma superfície rochosa, menor será a energia libertada e, portanto, maior será o ressalto do pistão depois do disparo inicial.

No trabalho de campo (figura 6) foi utilizado o esclerómetro portátil do tipo L (energia de impacto  $0,735 \text{ N/mm}^2$ ), da marca PROCEQ, disponibilizado pelo Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

A ISRM (1978a, 1978b) recomenda que seja utilizado, nos ensaios de material rochoso, o martelo do tipo L, pois em material rochoso de granularidade grosseira, uma maior força de impacto poderá conduzir a uma destruição de certos grãos de minerais menos resistentes, afectando assim os valores obtidos.

Outra operação necessária é a normalização dos valores obtidos relativamente às orientações do martelo na altura do impacto, quando a superfície a testar não for horizontal. Assim, quer a ISRM (1978a, 1978b), quer a ASTM (2001), recomendam o recurso às curvas de correcção fornecidas pelo fabricante do equipamento para a normalização dos valores, tendo como referência a superfície horizontal.

Nos ensaios de campo, Aydin & Basu (2005) relembram a necessidade fundamental do posicionamento do eixo do martelo ser perpendicular à superfície a testar, minimizando assim os erros devidos a impactos oblíquos. Nos ensaios de campo ocorrem também variações significativas que podem ser causadas pela rugosidade natural das superfícies, pela falta de informação quanto às descontinuidades próximas da superfície de teste e pelas variações naturais na matriz que compõe o material rochoso.

---

Para que as condições gerais do ensaio de campo (figura 6) sejam válidas devem seguir-se as seguintes recomendações, a saber: limpeza da área do ensaio, verificação da ausência de fissuras e eliminação da patina superficial de rocha meteorizada e, na execução do ensaio, o aparelho deve ser posicionado perpendicularmente à superfície estrutural a ser percutida.



Figura 6 - Exemplo da utilização do martelo de Schmidt do tipo L durante o trabalho de campo.

Em função da dureza (ou resistência) do material-rocha, a massa de aço sofre maior ou menor ressalto (“Rebound Value”, R), sendo o valor registado numa escala (0-100) do aparelho. No presente trabalho, foi seguida a metodologia sugerida pela ISRM (1978a, 1978b) e ASTM (2001), em que se registam 10 impactos obtidos com o martelo e, seguidamente, eliminam-se os 5 valores mais baixos. O valor do ressalto (R) corresponde, então, à média das 5 medições mais elevadas. Em geral, as recomendações apontam para um afastamento mínimo dos pontos de impacto superior a uma vez o diâmetro do pistão de disparo. Finalmente, recorre-se ao ábaco de Miller (ISRM, 1978a, 1978b) em que, com o valor médio de R calculado, a orientação do disparo (perpendicular à superfície de ensaio e normalizada para as direcções sub-horizontal, 45° e sub-vertical) e a densidade média da rocha, é possível chegar a um valor aproximado de resistência à compressão uniaxial simples (figura 7). A ISRM (1981) sistematiza 5 termos de resistência à compressão ( $S_1$  a  $S_5$ ) (quadro 1).

Nos ensaios de campo efectuados durante este trabalho, foram registadas numa ficha de campo (figura 8), as medições de 10 pontos de impacto obtidas para cada ensaio ao longo

do perfil linear (Ferrer & González de Vallejo, 2007). Cada ensaio foi devidamente referenciado num painel fotográfico previamente realizado para o efeito. Estes ensaios foram distribuídos uniformemente pelos painéis estudados, recorrendo à técnica de amostragem linear aplicada a maciços rochosos referida no ponto anterior (e.g., Chaminé & Gaspar, 1995; Chaminé et al., 2001), usando uma fita graduada de 20 m ou de 50 m.

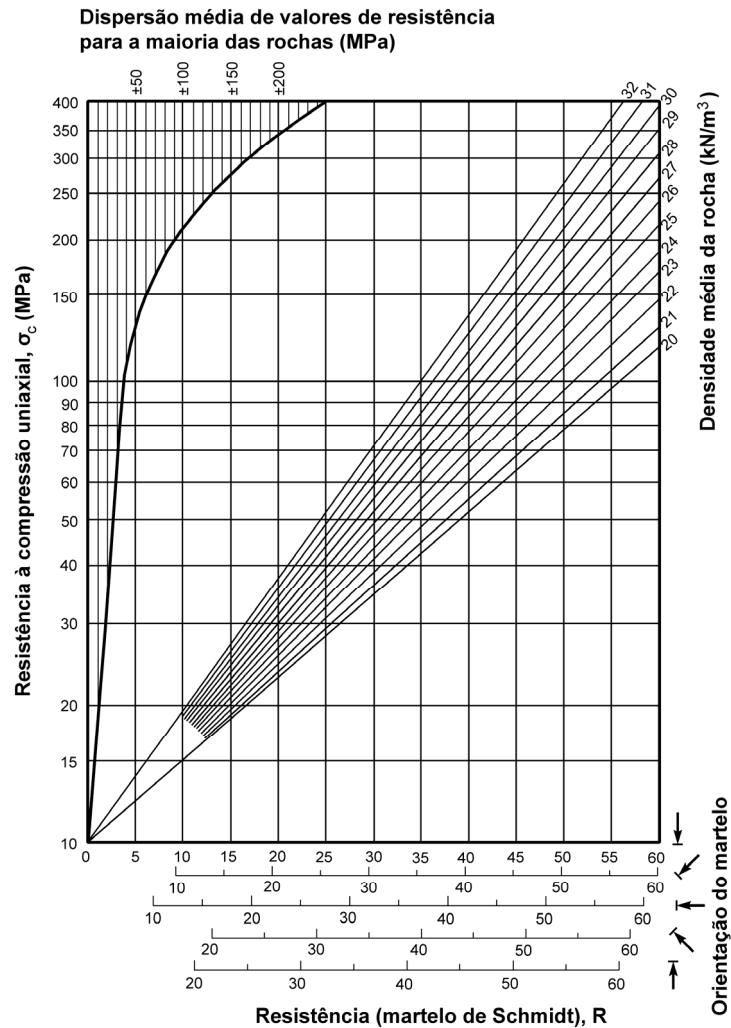


Figura 7 - Ábaco de Miller (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Quadro 1 - Resistência à compressão simples (segundo a ISRM, 1978b, 1981).

Designação	Resistência à Compressão Simples ( $\sigma_c$ , MPa)	Classificação	
S <sub>1</sub>	> 200	Muito elevada	S <sub>1-2</sub> Elevada
S <sub>2</sub>	60 a 200	Elevada	
S <sub>3</sub>	20 a 60	Média S <sub>3</sub>	
S <sub>4</sub>	6 a 20	Baixa	S <sub>4-5</sub> Baixa
S <sub>5</sub>	< 6	Muito baixa	





---

Assim, foram realizadas várias campanhas de campo em cada um dos pólos de estudo. Dada a dispersão geográfica dos diferentes pólos, foram ainda aproveitadas as inúmeras deslocações ao campo para outras tarefas (amostragem de águas, cartografia geológica e geomorfológica, cartografia da fracturação e ensaios geomecânicos) para controlar e registar os parâmetros físico-químicos da água nos pontos de água inventariados em datas diferentes. Assim, foram medidos de uma forma sistemática, sempre que possível, a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) da água e do ar, o pH e a condutividade eléctrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), bem como o controlo do caudal *in situ*.

O inventário incidiu, sobretudo, nos seguintes pontos de água ou estruturas, a saber: nascentes, arranjos de nascente, minas de água, fontanários, poços, furos e águas superficiais (ribeiras e linhas de água secundárias). Durante o trabalho de campo, os pontos de água foram georreferenciados com um GPS de alta precisão Trimble® GeoExplorer XH2008 (figura 9), disponibilizado pelo Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, LABCARGA|ISEP.

Para cada ponto de água foi preenchida uma ficha de inventário contendo (figura 10), além das informações já referidas, os seguintes parâmetros: n.º do ponto de água, localização, profundidade (m), litologia, grau de alteração (W), data/hora da recolha dos dados. Em gabinete, às fichas preenchidas no campo foi ainda acrescentada uma fotografia ilustrativa do ponto de água referenciado.



Figura 9 – Exemplo da utilização do GPS de alta precisão Trimble® GeoExplorer XH2008 na georreferenciação de pontos de água e foto de pormenor do equipamento.

Nº Inventário:  Designação  Tipo:

Carta 25.000 nº:

Planta de Localização Fotografia

Água normal:  Água mineral:  Reconhecida oficialmente:

Cota (m):  Proprietário:

Condições de acesso:

**A água emerge através de:**

Tubo de diâmetro  Solo  Rocha  Zona alagada

Uma única descarga  Um grupo de nascentes  Área de descarga:

Nascente permanente  Nascente temporária

**Geomorfologia:**

Planalto  Encosta  Talvegue  Outra  Observações

**Enquadramento geológico e hidrogeológico:**

Carta geológica  Escala:  Carta hidrogeológica  Escala:

Unidade hidrogeológica local ou regional:

Litologia

Armadilha hidrogeológica:

**Qualidade da água e caudal:** Data  Hora  Anos. an. laboratorial:

Cheiro:  Cor:  Turbidez:

Outras observações: Plantas  Animais  Algas  Incrustações

Caudal (m<sup>3</sup>/h):  Medido com:  Temp. Água (°C)

Humidade relativa (%)  Temp. Ar (°C)  pH:  Cond. Elétrica (us/cm)

**Utilização:** Consumo humano  Balneoterapia  Engarrafamento  Uso industrial

Animais  Uso agrícola  Lavadouro Público  Sem uso

**Estruturas de desenvolvimento:** Data

Construção antiga  Construção recente  Observações:

**Furos:** Designação:  Outra designação:  Data Construção:

Profundidade (m):  Diâmetro:

Entubado  Tipo entubamento:  Desentubado

Nível estático:  Referido a: Cabeça  Solo  Nível dinâmico:

Equipado com Bomba: Sim  Não  Tipo:  Profundidade (m):

Caudal (m<sup>3</sup>/hora)  Potência (kW):  Tipo de caseta:

Observações:

Preenchido por:  Verificado por:  Data:

Figura 10 - Modelo de ficha de inventário hidrogeológico utilizada no trabalho de campo (adaptada e modificada de Carvalho, 2006).

### 2.1.5. Hidrogeoquímica convencional

Para a caracterização hidrogeoquímica convencional das águas subterrâneas e superficiais, recorreu-se a técnicas analíticas correntes, tendo-se doseado os elementos maiores, bem como alguns elementos menores (*cf.* quadro 2). As análises referentes ao presente estudo foram, maioritariamente, realizadas pelo Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge — Centro de Saúde Pública Doutor Gonçalves Ferreira (INSA-Porto), coordenadas pela Dra. Ana Heitor.

No quadro 2 apresentam-se os parâmetros analisados, assim como os métodos analíticos utilizados nas análises físico-químicas.

Quadro 2 - Parâmetros e métodos analíticos relativos às análises realizadas pelo INSA-Porto.

Parâmetros	Métodos analíticos	Parâmetros	Métodos analíticos
Turvação (UNT)	Turbidimetria/DSA ASQT-PE17_02 P	Nitritos (mg/L NO <sub>2</sub> )	Fluxo contínuo segmentado/DSA ASQT-PE03_04 P
pH (18°C) (E. Sorênsen)	Electrometria/DSA ASQT-PE07_05 P	Carbono Orgânico Total (mg/L C)	C. Infravermelho/DSA ASQT-PE16_02 P
Condutividade a 20°C (mS/cm)	Electrometria/DSA ASQT-PE08_02 P	Amónio (mg/L NH <sub>4</sub> )	Fluxo contínuo segmentado/DSA ASQT-PE03_04 P
Cloretos (mg/L Cl)	Cromatografia Iónica/DSA ASQT-PE02_04 P	Sódio (mg/L Na)	Espectrometria Emissão/Método interno
Sulfatos (mg/L SO <sub>4</sub> )	Cromatografia Iónica/DSA ASQT-PE02_04 P	Potássio (mg/L K)	Espectrometria Emissão/Método interno
Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Volumetria-Método interno/Volumetria-DSA ASQT-PE22_01 P	Cálcio (mg/L Ca)	Volumetria/Método interno
Bicarbonatos (mg/L HCO <sub>3</sub> )	Cálculo-DSA ASQT-PE22_01 P	Magnésio (mg/L Mg)	Cálculo
Ferro (mg/L Fe)	Fluxo contínuo segmentado/DSA ASQT-PE03_04 P	Arsénio (mg/L As)	Espectrofotometria de Absorção Atómica/ DSA ASQT-PE09_04 P
Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> )	Cromatografia Iónica/DSA ASQT-PE02_04 P	Fluoretos (mg/L F)	Cromatografia Iónica/ DSA ASQT-PE02_04 P

Através da avaliação dos resultados obtidos através das análises hidrogeoquímicas convencionais, foram seleccionados alguns pontos de amostragem singulares, para análises físico-químicas complementares, realizadas em Março e Abril de 2011. Estas águas foram analisadas através espectrometria de massa acoplada a plasma indutivo (ICP-MS), no Laboratório ActLabs (Canadá: [www.actlabs.com](http://www.actlabs.com)), em equipamento Perkin Elmer Sciex ELAN 9000 ICP/MS. A espectrometria de massa acoplada a plasma indutivo (ICP-MS) é uma técnica robusta para a análise multielementar, em que o modo de operação qualitativo permite, num único varrimento, avaliar todos os elementos da tabela periódica e o modo de operação quantitativo gera uma precisão e exactidão muito elevadas (Cocherie & Robert, 2007; Elliott et al., 2007; Kosler, 2007), tendo, para a maior parte dos elementos analisados limites de detecção inferiores abaixo de 1µg/L, podendo chegar mesmo a 0,001µg/L. Como os limites de detecção superiores são relativamente baixos (*e.g.*, 35 mg/L para o elemento químico Sódio), este método é especialmente eficaz em águas com mineralizações baixas.

---

No momento das amostragens foram medidos sistematicamente *in situ*, tal como foi anteriormente referido, a temperatura, o pH e a condutividade eléctrica, com recurso ao equipamento portátil HI991300 da Hanna® Instruments (figura 11).

Todos os resultados laboratoriais obtidos foram tratados analiticamente, nomeadamente através da elaboração de diagramas hidroquímicos, com o programa informático *AquaChem 5.1* da *Schlumberger Water Services*, disponibilizado pelo Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, LABCARGA|ISEP, o qual é detentor de uma licença de utilizador.



Figura 11 - Controlo *in situ* da temperatura, do pH e da condutividade eléctrica da água e aspecto de pormenor do equipamento portátil da Hanna® Instruments HI991300.

### **2.1.6. Análises radiológicas das águas**

Relativamente às análises radiológicas, foram recolhidas amostras de água, durante as diversas campanhas de campo, para avaliação da sua radioactividade natural. Estas determinações foram efectuadas com suporte em técnicas de cintilação líquida, tendo incidido sobre o gás radão (isótopo  $^{222}\text{Rn}$ ), bem como sobre os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  total, frequentemente utilizados como indicadores expeditos da radioactividade presente nas amostras e associados à desintegração dos isótopos que precedem o  $^{222}\text{Rn}$ , em geral, o  $^{238}\text{U}$ , o  $^{234}\text{U}$  e o  $^{226}\text{Ra}$ . Estas análises foram realizadas com o objectivo de avaliar a variabilidade na distribuição dos isótopos radioactivos nas águas, bem como o impacto destes elementos na qualidade das águas subterrâneas e superficiais. As referidas análises foram realizadas no Laboratório de Radioactividade Natural, do Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (DCT-FCTUC), sob a coordenação do Professor Doutor Alcides Pereira.

No caso das amostras usadas para a determinação do gás radão, foi recolhido um volume de água com ca. 0,2 L, tendo sido cada amostra recolhida com especial cuidado para reduzir o efeito de agitação e, assim, evitar perdas significativas de radão, que ocorre sobre

---

a forma gasosa. Com o mesmo propósito, foram utilizados recipientes de vidro apropriados, com tampa revestida a alumínio. Para os restantes, foram usados 500 mL de amostra, filtrada a 0,45  $\mu\text{m}$  e acidificada a  $\text{pH}=2$ , para prevenir a precipitação, polimerização ou formação de colóides. Para alcançar uma melhor sensibilidade e otimizar os tempos de contagem, as amostras foram evaporadas de forma a ser alcançado um factor de concentração de 10.

As amostras para determinação de  $^{222}\text{Rn}$ , em laboratório, foram tomadas directamente, sem pré-concentração, tendo sido utilizado Betaplate Scint como *cocktail* de cintilação e vials de polietileno revestidos a teflon. Após a preparação, aguardou-se 3 horas pelo restabelecimento do equilíbrio entre o radão e os seus descendentes antes de efectuar as análises, aplicando-se às actividades medidas uma correcção em função do tempo decorrido entre a análise e a colheita.

No caso dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ , para cada amostra, foram transferidos 8 ml de água para um vial de polietileno, tendo sido adicionado 12 ml de *cocktail* de cintilação *Ultima Gold AB*, que apresenta uma grande eficiência na discriminação dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ .

Uma explicação mais detalhada das técnicas utilizadas e procedimentos de calibração pode ser encontrada em Gonçalves & Pereira (2007). Todas as análises radiológicas foram determinadas a partir de um espectrómetro de cintilação líquida ultra-sensível Perkin Elmer Quantulus 1220 (figura 12).



Figura 12 - Espectrómetro de cintilação líquida ultra-sensível Perkin Elmer Quantulus 1220, para a determinação de diversos radionuclídeos (cortesia do Laboratório de Radioatividade Natural, DCT|FCTUC).

### **2.1.7. Detecção remota e foto-interpretação geológica/geomorfológica**

A detecção remota consiste num conjunto de técnicas e processos usados para aquisição de informação sobre um determinado objecto, sem que haja contacto directo do sensor com esse mesmo objecto, constituindo uma ferramenta poderosa no domínio das geociências

---

(e.g., Curran, 1985; Claverol, 1993; Richards, 1993; Brum da Silveira, 2002; Lillesand et al., 2003; Fonseca & Fernandes, 2004; Rabaça et al., 2004; Silva et al., 2006; Pereira et al., 2007b; Pereira et al., 2008a; Pereira et al., 2008b; Pinho et al., 2009). Os sensores poderão estar desde algumas centenas de metros acima da superfície terrestre (e.g., fotografia aérea, LIDAR - *Light Detection And Ranging*) a centenas (ou mesmo milhares) de quilómetros (e.g., satélites orbitais). As informações sobre o objecto, neste caso, são derivadas a partir da detecção e medida das modificações que ele impõe sobre os campos de força que o cercam, nomeadamente sobre a energia electromagnética.

O sistema de aquisição de informações por detecção remota é formado por alguns sub-sistemas importantes, a saber (Sabins, 1997): i) sistemas sensores, que são os equipamentos que focalizam e registam a radiação electromagnética proveniente de um objecto; ii) sistemas de processamento de dados, que convertem o dado bruto produzido pelo sensor em variável física passível de ser interpretada e convertida em informação; iii) sistemas de análise, que incluem todas as ferramentas, das quais se destacam os sistemas de geoprocessamento que permitem integrar a informação derivada da detecção remota noutros sistemas, nomeadamente os SIG.

Os sensores usados para a aquisição de informações podem ser divididos em dois grupos: sensores passivos e sensores activos (Fonseca & Fernandes, 2004). Os sensores activos produzem e transmitem energia em direcção ao objecto de estudo e registam o sinal de retorno, resultante da interacção da radiação incidente com suas propriedades químicas, físicas e biológicas. A relação entre o sinal emitido e recebido pelo sensor é utilizado para derivar as propriedades do objecto estudado. Os sensores passivos detectam e registam a energia emitida ou reflectida pelos objectos estudados (dependem, portanto, de uma fonte externa de energia, que na maioria dos casos é o Sol). A intensidade do sinal emitido ou reflectido pelos objectos em diferentes regiões do espectro electromagnético permite derivar informações sobre suas propriedades (Curran, 1985; Richards, 1993; Fonseca & Fernandes, 2004).

A radiação electromagnética emitida pelo Sol é composta por ondas electromagnéticas, que se propagam no vácuo a uma velocidade constante de aproximadamente 300.000 km/s. O conjunto das radiações electromagnéticas emitidas pelo Sol, na totalidade dos seus comprimentos de onda, é geralmente designado por espectro electromagnético (Sabins, 1997; Brum da Silveira, 2002).

A detecção remota parte do pressuposto que toda a matéria do Universo com temperatura superior a 0° Kelvin (-273,15°C) irradia energia electromagnética. Cada corpo do universo tem, assim, o seu próprio espectro de radiação, que varia de acordo com as suas propriedades físicas (temperatura) e químicas (composição) (Richards, 1993; Fonseca & Fernandes, 2004).

---

A fotografia aérea foi um das primeiras formas de detecção remota e é ainda muito aplicada em estudos de foto-interpretação geológica e geomorfológica (Vergarra, 1988). As fotografias aéreas verticais geralmente são obtidas em fiadas sequenciais ao longo de uma linha de voo, de tal modo que apresentem sobreposição de área na ordem de 60%. Esta sobreposição ao longo da linha de voo permite a aquisição dos chamados pares estereoscópicos, que são usados para que o terreno possa ser visualizado em três dimensões. Para que toda a área estudada seja coberta em sucessivas linhas de voo, está convencionada também uma sobreposição lateral de 25 % entre linhas de voo adjacentes (Vergarra, 1988; Scanvic, 1989; Claverol, 1993).

Outra propriedade importante das fotografias aéreas é a sua escala, sendo a escala da fotografia aérea que determina o seu valor para diferentes aplicações. Fotografias aéreas de escalas pequenas (e.g., 1/50.000) proporcionam visão sinóptica da superfície e a possibilidade de observar áreas amplas, mas, no entanto, o nível de resolução da fotografia nessa escala é pequeno e esta apenas permite interpretações de carácter regional. Uma fotografia aérea com escala grande (e.g., 1/2.000) possibilita a aquisição de informações localizadas em pequenas áreas com alta resolução espacial, sendo assim possível a cartografia fina dos objectos e feições geomorfológicas e geológicas, revelando-se muito úteis nos estudos de pormenor, tais como alguns desenvolvidos no âmbito deste trabalho.

A interpretação de fotografias aéreas pode ser formalmente definida como a acção de examinar imagens fotográficas com o propósito de identificar objectos e atribuir-lhe um significado. Durante o processo de interpretação realizam-se várias tarefas, tais como (Vergarra, 1988; Fonseca & Fernandes, 2004): detecção, reconhecimento e identificação, análise, dedução, classificação, idealização e determinação da exactidão.

Do ponto de vista do processamento dos dados digitais obtidos por detecção remota, as características mais importantes são (Richards, 1993):

- A resolução espectral, ou seja, o número de bandas e as regiões espectrais a que se referem;
- A resolução espacial dos dados, ou seja, o tamanho do pixel no terreno (em metros);
- A resolução radiométrica, ou seja, o número de elementos quantificadores que representam o brilho de cada pixel.

O formato *raster* é um formato adequado para representação de imagens, uma vez que são geradas por um sistema de varrimento que as adquire, transmite e regista digitalmente. Além disso, os equipamentos para visualização das imagens também operam com formato *raster*. Este formato é igualmente interessante sob o ponto de vista do processamento da informação, visto que os registos lógicos dos dados são os valores de cada pixel, independentemente de serem pontos, linhas ou áreas. Outra vantagem deste formato é a

---

facilidade de referência da informação, através dos números das linhas e colunas da matriz de dados.

Uma outra característica importante das imagens digitais é a sua resolução espacial porque esta condiciona a escala dos produtos fotográficos gerados e, conseqüentemente, dos mapas produzidos. Richards (1993) sugere as escalas apropriadas para os diferentes produtos (quadro 3), existindo uma forte relação entre a resolução espacial do sensor e a escala máxima em que um mapa pode ser gerado a partir dos seus dados. A ampliação da escala via processamento de imagem não aumenta o seu conteúdo de informação, o qual está vinculado à resolução espacial, espectral e radiométrica dos dados. Uma imagem TM/Landsat, às escalas 1/100.000 e 1/50.000 possui, basicamente, o mesmo conteúdo de informação. A ampliação para a escala 1/50.000 possibilita apenas que os elementos observados numa imagem 1/100.000 se tornem mais visíveis e passíveis de serem cartografados. Em geral, considera-se 1/50.000 como o limite máximo de ampliação das imagens TM, visto que, acima de 1/50.000 há a perda de definição das formas dos objectos cartografados.

Quadro 3 - Escalas máximas de produtos fotográficos em função do tamanho efectivo do pixel no terreno (adaptado de Richards, 1993).

<b>Escala</b>	<b>Tamanho do pixel (m)</b>
1:50.000	5 x 5
1:250.000	25 x 25
1:500.000	50 x 50
1:5.000.000	500 x 500
1:10.000.000	1.000 x 1.000
1:50.000.000	5.000 x 5.000

As imagens digitais possuem uma grande vantagem comparativamente às analógicas, que é a de poderem ser processadas visando o realce ou a extracção de informações específicas. Assim sendo, podem ser geradas composições coloridas a partir da utilização de diferentes combinações de bandas espectrais, combinações de imagens de uma mesma banda em diferentes datas, ou imagens de diferentes sensores.

As imagens associadas às cores vermelha, verde e azul produzirão uma intensidade de sinal máxima quando o número digital for 255 e mínima quando o número digital for 0. Assim, o valor de cor final de cada pixel resultará da combinação dos valores das diferentes bandas (quadro 4) (e.g., um pixel com valor R= 255, G=0, B=0, terá uma cor final vermelha; um pixel com valor R=255, G=255, B=0 resultará num pixel amarelo). Como é mais fácil para o cérebro humano processar informações já conhecidas, geralmente procura-se atribuir



---

cores às bandas de tal forma que a composição resultante se pareça com a cor natural dos objectos, mesmo que as bandas utilizadas não contenham informações do espectro visível (Richards, 1993).

Como as necessidades de informação variam com as diferentes áreas de conhecimento, existe uma grande quantidade de métodos de tratamento dos dados digitais, geralmente agrupados em duas grandes categorias. Os métodos quantitativos envolvem o uso de computadores e aplicativos especializados que permitem o exame de cada pixel da imagem, individualmente, com vista à avaliação das propriedades do alvo, a partir dos atributos que apresentem nas diferentes faixas do espectro. Permite, assim, o exame das grandezas radiométricas registadas pelo sensor. Os métodos qualitativos de extracção de informações envolvem um utilizador que “interpreta” as cores, padrões, formas, etc., a partir de uma inspecção visual da imagem. A análise qualitativa depende, assim, de informações oferecidas pelo analista. Os dois métodos de interpretação são úteis e complementares. A foto-interpretação pode ser facilitada, inclusive, se as imagens a serem submetidas à análise visual forem previamente processadas de modo a realçar aspectos relevantes da cena. Os dois métodos, portanto, dependem do conhecimento que o utilizador da informação possui sobre os objectos investigados, nomeadamente quanto ao seu comportamento espectral, à sua estrutura (no caso da vegetação) ou à sua composição mineralógica e textural (no caso dos solos e das rochas). A fase final do processo de interpretação visual é a avaliação da precisão da classificação efectuada. Para isto, pode, por exemplo, identificar-se uma série de pontos a serem visitados no campo para confirmar ou refutar a interpretação, ou pode ainda, utilizar-se dados de campo e de outros sensores (Richards, 1993).

Um dos aspectos mais importantes no uso da tecnologia de detecção remota é o conhecimento das suas vantagens e limitações. Das principais vantagens podem destacar-se, entre outras, a possibilidade de adquirir informações sobre amplas regiões e o baixo custo, por unidade de área. De facto, uma imagem do Sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat pode registar instantaneamente uma área de cerca de 35.000 km<sup>2</sup>. Admitindo-se um custo médio de 1.000€ por cena, o custo da aquisição da informação por km<sup>2</sup> torna-se, portanto, irrisório. As desvantagens dos dados de detecção remota estão ligadas especialmente à sua resolução espacial, espectral e radiométrica. Para exemplificar esta situação, basta referir que, se o objectivo for cartografar bairros do tecido urbano, esta tarefa pode tornar-se extremamente complicada com um detector como o Landsat, com tamanho de pixel de 25 x 25 metros, uma vez que o tamanho do objecto a cartografar será muito próximo da resolução máxima do sensor (Salinero, 2007).

Quadro 4 - Bandas de informação adquiridas pelo Satélite Landsat5 – Sensor Thematic Mapper (TM)  
(adaptado de Richards, 1993).

Banda	Comprimento de onda (mm)	Descrição	Resolução (metros)	Comentários
1	0,45 a 0,52	Azul	30	Distingue entre solo e vegetação. Ideal para observar áreas com água.
2	0,52 a 0,60	Verde	30	Mostra vegetação forte.
3	0,63 a 0,69	Vermelho	30	Distingue diferentes espécies vegetais. Muito usada na geologia.
4	0,76 a 0,90	Infravermelho reflectivo	30	Bom indicador de limites. Mostra bem a vegetação.
5	1,55 a 1,75	Infravermelho médio	30	Mostra a quantidade de água nas plantas.
6	10,4 a 12,5	Infravermelho termal	150	Imagem de baixa resolução. Mostra poluição termal e locais geotermais.
7	2,08 a 2,35	Infravermelho médio	30	Usos geológicos. Mostra os diferentes tipos de solo.
PAN	0,50 a 0,90	Verde a infravermelho	15	Pancromática (escala de cinzas). Alta resolução. Coregistrada com as outras bandas.

Um outro aspecto muito importante no uso da detecção remota é a compatibilização entre a dinâmica dos processos a serem estudados e a frequência de aquisição dos dados. Muitas das aplicações de detecção remota podem tornar-se inviáveis pela falta de dados recolhidos com frequência compatível ao fenómeno em estudo. Algumas aplicações, como a cartografia geológica, não exigem aquisições sequenciais de dados, pois a variação das formas de relevo e estruturas geológicas não são perceptíveis a uma escala diária, mensal, ou mesmo na casa das dezenas de anos (o mesmo não se passa na meteorologia, que necessita de aquisição de dados permanente, horária ou bi-horária). A disponibilidade de um bom conjunto de dados numa determinada data é suficiente para atender às necessidades da maior parte das aplicações em geologia (Salinero, 2007).

À informação de base processada nos modelos digitais de terreno (MDT) são sobrepostas imagens obtidas por detecção remota, nomeadamente fotografia aérea monocromática, bem como imagens de satélite, de modo a proceder-se à sua georreferenciação, quando necessário. Das imagens obtidas remotamente são digitalizados os traços de acidentes estruturais essencialmente verticais ou sub-verticais. Esta informação é armazenada em formato vectorial georreferenciado e permite posterior tratamento, quer no próprio 'software' de SIG, através de extensões disponíveis, quer em ferramentas dedicadas ao processamento estatístico de dados geológicos e geomorfológicos.

Através das ferramentas estatísticas vectoriais disponibilizadas pelos pacotes de *software* utilizados no processamento da informação é possível obter os tradicionais diagramas vectoriais circulares (diagramas de roseta) das direcções de fracturação regional. Dos acidentes tectónicos existentes em determinada região apenas são visíveis nas imagens de

---

detecção remota aqueles mais próximos da vertical, sendo os oblíquos muitas vezes difíceis de discernir e os (sub-) horizontais são, em regra, quase impossíveis de determinar.

A análise de estruturas geológicas começa a encontrar pontos de apoio sólidos para um desenvolvimento integrado de técnicas e de metodologias no âmbito da detecção remota, com recurso a meios informáticos. Não obstante, estas são validadas pela observação e caracterização de terreno. Todas as ferramentas desenvolvidas de forma independente apenas encontram significado quando existe a sua integração nas várias vertentes dos trabalhos de geologia e geomorfologia aplicada. Deste modo, é possível realizar uma análise que recorre a técnicas clássicas, as quais renovam, assim, o seu campo de aplicação. A abordagem morfoestrutural recebe, portanto, uma nova relevância que, associada com as tecnologias de realidade virtual aplicadas à modelação digital de terreno (e.g., Wilson & Gallant, 2000), se torna muito útil no domínio das geociências.

## **2.2. Sistemas de Informação Geográfica e outras ferramentas geoinformáticas**

### **2.2.1. Generalidades**

Em qualquer estudo de geociências, o primeiro problema que se coloca é o da escala, pois é dela que dependerá, em grande parte, a validade dos modelos e das concepções espaço-temporais realizadas. Por isso, devem evitar-se modelos construídos a uma única escala, devido às suas bases e suposições simplificadoras (Grayson et al., 1993). De facto, diferentes processos e interações podem ser ou não dominantes à medida que se avança desde as escalas de trabalho para a escala real e vice-versa. Este argumento é válido para as aplicações de modelação da erosão do solo, mas igualmente para os modelos geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos e mesmo biológicos (Wilson & Gallant, 2000). A maior parte da investigação hidrológica (incluindo a componente hidrogeológica), ecológica, geológica e geomorfológica do século passado foi conduzida à escala global e às escalas “nano” e “micro”, conforme identificadas na figura 13. As escalas “meso” e “topo” receberam muito menos atenção, apesar da sua grande importância na solução dos problemas ambientais, que requerem estratégias claras também nestas escalas (Mackey, 1996).

As recentes ferramentas na área da modelação do terreno em três dimensões têm dado um impulso enorme aos estudos de hidrogeologia, de geomorfologia e de geologia geral nas últimas décadas (Wilson & Gallant, 2000)(ver quadro 5).

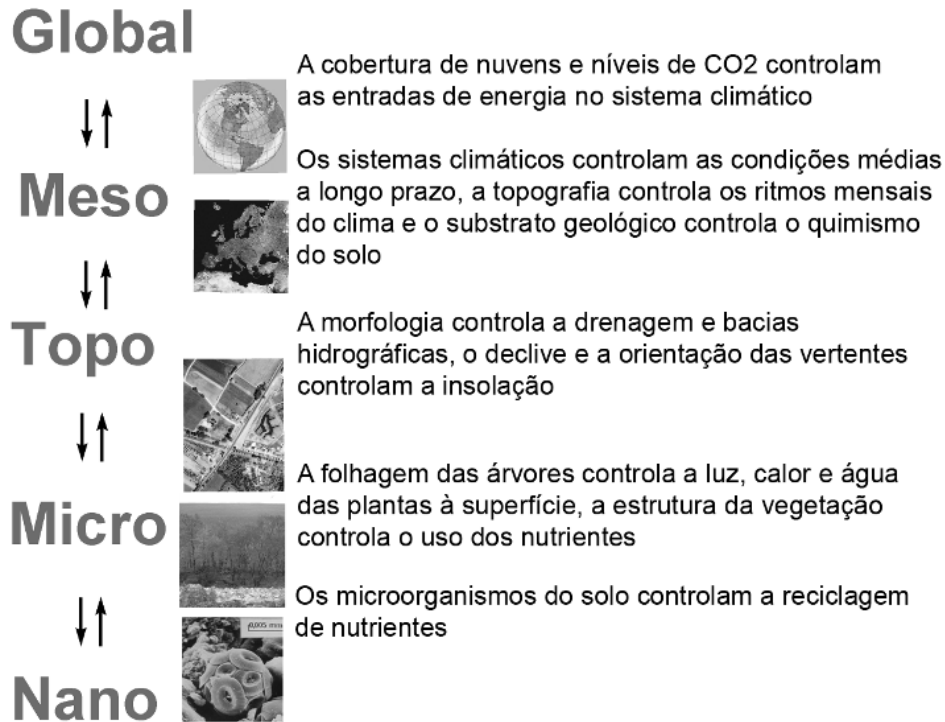


Figura 13 – Interação entre diferentes escalas nas quais os diversos processos biofísicos e geodinâmicos dominam no cálculo dos regimes ambientais (adaptado de Wilson & Gallant, 2000).

Quadro 5 - Escalas espaciais de aplicação dos MDT - Modelo Digital de Terreno (na nomenclatura anglo-saxónica designam-se por DEM - Digital Elevation Models) e principais fontes de dados topográficos para a sua geração (adaptado de Wilson & Gallant, 2000).

Escala	Resolução DEM	Fontes de informação mais comuns	Aplicações
Topo-Escala Pormenor	5 - 50 m	Curvas de nível, pontos cotados e quebras de relevo obtidas a partir de fotografia aérea e mapas topográficos existentes a escalas entre 1/15.000 a 1/50.000 Levantamentos de campo da altimetria por teodolito e GPS Dados de detecção remota, por satélite laser e radar	Modelação espacial hidrológica Modelação espacial das propriedades do solo Correcções topográficas a dados de detecção remota Aspectos topográficos da radiação solar, evaporação e padrões vegetais
Topo-Escala Geral	50 - 200 m	Curvas de nível, pontos cotados e quebras de relevo obtidas a partir de mapas topográficos existentes a escalas entre 1/50.000 a 1/200.000 Vectorização de informação altimétrica de mapas à escala 1/1.000.000	Modelação hidrológica de grandes áreas Modelação de bacias hidrográficas, e espacialização da biodiversidade
Meso-Escala	200 m - 5 km	Curvas de nível, pontos cotados e quebras de relevo obtidas a partir de mapas topográficos existentes a escalas entre 1/100.000 a 1/250.000	Representações de elementos climáticos dependentes da topografia (temperatura e precipitação) Aspectos topográficos da precipitação, efeitos do relevo no vento Determinação das divisões de drenagem continentais
Macro-Escala	5 - 500 km	Curvas de nível, pontos cotados e quebras de relevo obtidas a partir de mapas topográficos existentes a escalas entre 1/250.000 a 1/1.000.000	Grandes barreiras orográficas usadas nos modelos de circulação global

Naturalmente que as escalas representadas não têm uma divisão rígida e estática. Certamente que há sobreposições entre as diferentes escalas, por isso, a transição será gradual, mas a distinção entre elas é bem nítida. As aplicações dos MDT (ou DEM) são muito vastas, em todos os campos científicos. Por exemplo, a geomorfologia estrutural, tendo por objecto de estudo a investigação do papel da tectónica na modelação do relevo e

a sua intensidade, beneficia, assim, da possibilidade de visualização da topografia em 3 dimensões, quer à escala continental quer a uma escala de pormenor, as quais, combinadas com outras fontes de informação, como a litologia, a estratigrafia e a geologia estrutural, permitem uma visualização das estruturas tectónicas activas (Mayer, 2000). O interesse particular desta ferramenta reside na possibilidade da manipulação da imagem topográfica do relevo, o que permitirá dar ênfase a determinados elementos, tais como vales, interflúvios, alinhamentos tectónicos ou estruturas geológicas, dificilmente visíveis de outro modo.

Muitos estudos recentes utilizaram os MDT como ferramenta base, e Mayer (2000) refere vários exemplos. Na neotectónica, o efeito “hill-shade” (sombreamento do relevo, ou relevo sombreado) pode ser usado para realçar falhas reflectidas na topografia. Também a rede hidrográfica é influenciada pela topografia, na medida em que esta modela, por exemplo, as características do fluxo de sedimentos e das bacias adjacentes, e reflecte a influência dos levantamentos flexurais e da isostasia. Pode, igualmente, evidenciar o papel das anomalias na rede de drenagem e na interpretação da reactivação das estruturas geológicas antigas. Além disso, os variogramas construídos podem possibilitar a distinção entre formas climáticas e tectónicas. A modelação erosiva, a morfometria e o teste de hipóteses geomórficas podem ser outros exemplos das aplicações desta ferramenta (figura 14).

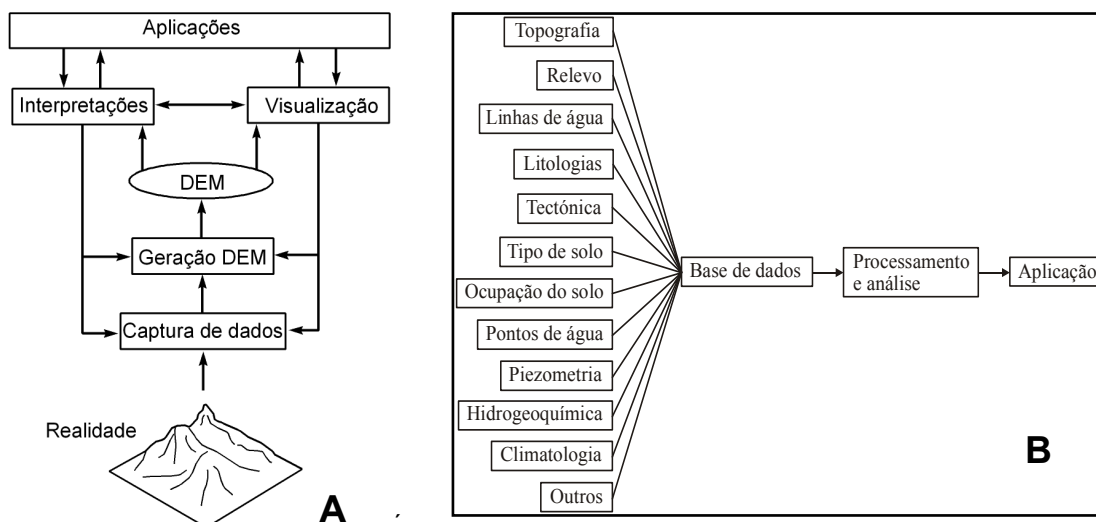


Figura 14 – Tarefas associadas aos Modelos Digitais de Terreno / DEM - *Digital Elevation Models* (adaptado de Schuurman, 2004) (A) ; Integração de diferentes níveis de informação num Sistema de Informação Geográfica destinado a apoiar estudos de engenharia de recursos hídricos (adaptado de Singhal & Gupta, 2010) (B).

---

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema constituído por *hardware*, *software* e um ambiente institucional (*liveware*), com o fim de armazenar, manipular, visualizar e analisar dados de natureza espacial (referenciados à superfície terrestre).

Numa noção mais abrangente, um SIG deverá contemplar três factores, a saber (Schuurman, 2004): a) a tecnologia SIG; b) a base de dados SIG; c) a infra-estrutura SIG (pessoal, instalações e outros elementos de apoio).

As técnicas e as metodologias dos SIG combinadas com a análise de dados obtidos por detecção remota têm-se revelado ferramentas poderosas no domínio das geociências (cartografia geológica, geotectónica, geologia mineira, geomorfologia, hidrogeologia, geofísica, geoquímica, etc.) e das engenharias (geológica, geotécnica, mineira, ambiental, etc.).

A análise de estruturas geológicas tem vindo a sofrer um grande avanço com a introdução de métodos baseados em geo-tecnologias mais poderosas, flexíveis e económicas (Wilson & Gallant, 2000). Os dados obtidos por detecção remota são cada vez mais numerosos (desde a cobertura vegetal, ocupação do solo e mesmo dados climatológicos) e estão disponíveis de forma cada vez mais económica (muitas vezes de forma gratuita), o que levanta o problema da velocidade e eficácia no seu tratamento e interpretação. No entanto, e apesar do desenvolvimento de ferramentas informáticas que apresentam capacidades de processamento cada vez maiores, o factor humano é sempre preponderante em qualquer análise e interpretação dos dados.

Atendendo às características intrínsecas ao trabalho de índole hidrogeomorfológica, fundamental ou aplicada, onde as relações espaciais, e não apenas as geométricas, são o factor fundamental para a sua correcta interpretação, surge, naturalmente, a ligação aos SIG e a necessidade do desenvolvimento de ferramentas que respondam especificamente às necessidades de cada caso em estudo. A utilização destas ferramentas geo-informáticas tem levado à reavaliação da importância de disciplinas como a geomorfologia, que vêm assim ressurgir o seu papel nas interpretações geológicas, actualmente guarnecidas de potentes auxiliares informáticos (Gabriel de Almeida et al., 2004).

Um SIG será então, por excelência, uma ferramenta destinada a recolher, representar, analisar e interpretar fenómenos com componente espacial, que ocorrem na superfície terrestre, tornando-se uma ferramenta de vital importância no apoio à decisão, em termos de conhecimento, planeamento e gestão de um dado espaço.

Os exemplos da aplicação dos SIG são muito variados, podendo apontar-se alguns ligados mais directamente às Geociências e/ou a esta dissertação:

- Determinação da distribuição espacial da ocupação do solo (e respectivas áreas e percentagens de ocupação);

- 
- Avaliação de impacte ambiental de grandes projectos e compatibilização destes com áreas de protecção da natureza e dos recursos naturais;
  - Localização de percursos panorâmicos;
  - Inventariação de *habitats* de espécies protegidas.
  - Planeamento do uso do solo, integrando informação diversa;
  - Análise e simulação de ocorrências espaciais: erosão, poluição das águas subterrâneas e evolução da impermeabilidade pela ocupação urbana do solo;
  - Modelação geológica, geomorfológica e/ou hidrogeológica;
  - Referenciação espacial de explorações de georrecursos (com todas as informações associadas directamente numa base de dados);
  - Cálculo do volume de recursos exploráveis em pedreiras;
  - Localização e informação associada a percursos de interesse geológico e/ou geomorfológico;
  - Localização e informação associada a percursos, monumentos e paisagens de interesse geológico e/ou geomorfológico.

Na figura 15 apresenta-se o esquema metodológico de construção da cartografia aplicada realizada na presente dissertação, com recurso aos SIG e outras ferramentas geo-informáticas.

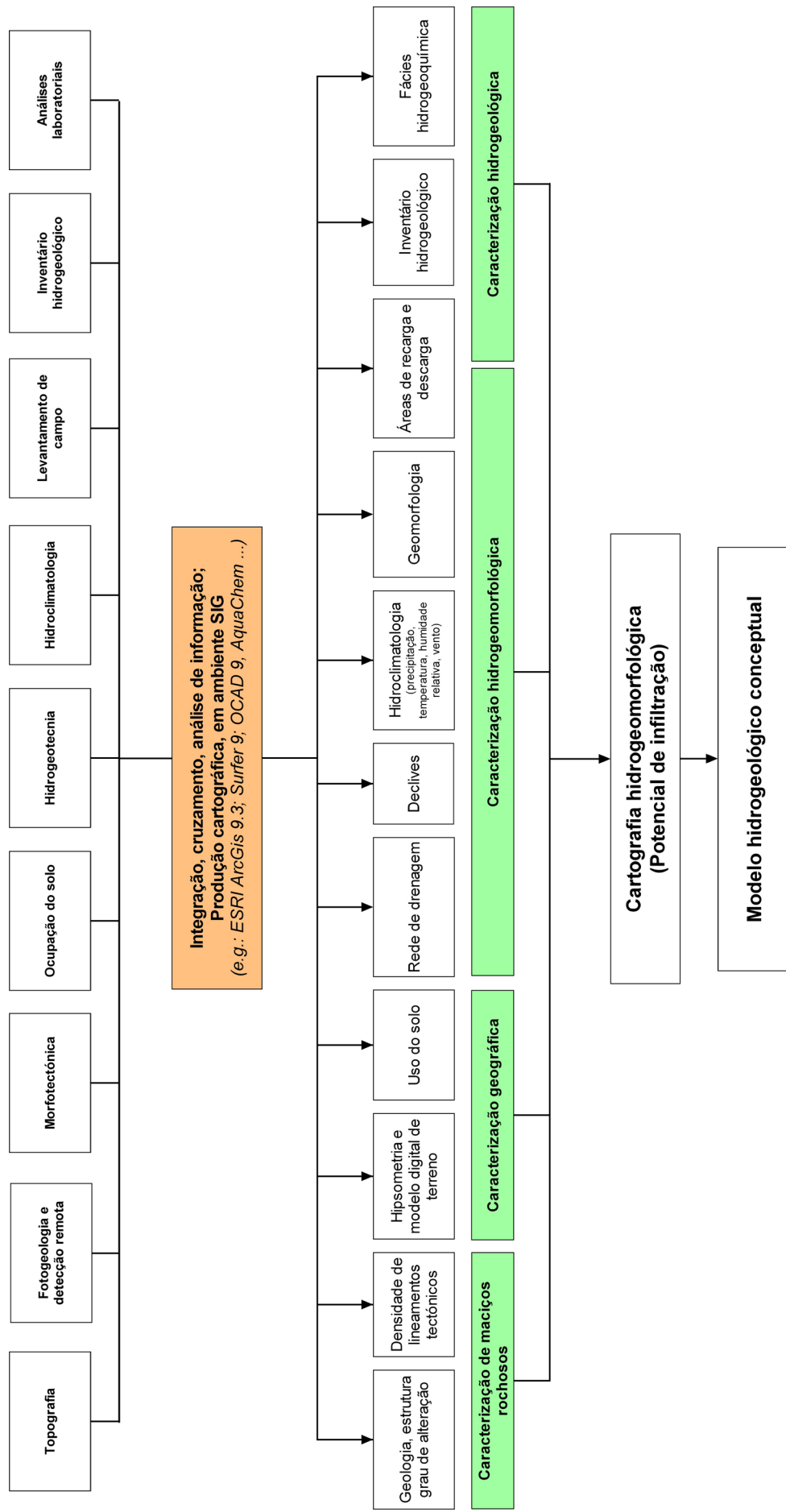


Figura 15 – Síntese geral dos processos de análise e produção de cartografia com recurso aos SIG.



---

### **2.2.2. Cartografia de base**

Na preparação da cartografia de base, foi inicialmente inventariada aquela que seria necessária para os diversos sectores de estudo, e a várias escalas, conforme descrito no ponto 2.2.1.

Tornou-se imperativo que os dados recolhidos, especialmente os de campo, fossem introduzidos num sistema informático – um SIG, para que fossem facilmente processados, analisados e sistematizados. Assim, uma das primeiras tarefas diz respeito à digitalização da topografia regional, numa base georreferenciada e à escala 1/25.000, num programa de formato vectorial, do qual se extraiu, nos locais que dizem respeito a este trabalho, a informação considerada de base (e.g., curvas de nível, pontos cotados, rede hidrográfica e rede de estradas).

Posteriormente, foi necessário vectorizar toda a informação relativa à cartografia geológica fundamental (em particular, litologia e estrutura) proveniente das fontes identificadas no ponto 2.2.1, bem como nos levantamentos realizados durante o decurso do presente trabalho.

À base cartográfica desenvolvida, que incorpora informação topográfica e geológica, foram adicionados todos os outros níveis de informação, tais como as linhas de água e o uso do solo, entre outros. Foi também a partir desta base topográfica que se iniciou a geração dum processo de modelação tridimensional do terreno, que deu origem ao Modelo Digital de Terreno (MDT), aos mapas de declives, à exposição de vertentes e aos perfis topográficos, igualmente gerados de forma semi-automática.

Neste trabalho, para simplificar os processos de análise em SIG, bem como para minimizar os erros de análise, decidiu-se utilizar o sistema de coordenadas Hayford-Gauss Militares (ponto fictício a W do Cabo S. Vicente), Datum de Lisboa, baseado na Projecção Transversa de Mercator, assim como todas as medições de orientações efectuadas sobre cartografia ou modelos digitais de terreno tomam como referência o norte cartográfico. As medições efectuadas no campo sofreram as correcções locais para o norte cartográfico, tendo como base a cartografia 1:25.000 série M888 do Instituto Geográfico do Exército.

### **2.2.3. GPS - Global Positioning System**

O GPS (*Global Positioning System*) foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA, tendo em vista dotar os serviços militares de meios rigorosos e seguros para o posicionamento e a movimentação no terreno. No entanto, desde logo se constatou a grande utilidade do GPS para múltiplas utilizações civis. O sistema conta com 24 satélites

---

operacionais em 3 planos orbitais com 8 satélites cada. Os satélites GPS orbitam a 22200 km de altitude e a uma velocidade de 11300 km/h (3,139 km/s), perfazendo duas voltas completas por dia ao Planeta (El-Rabbany, 2002; Kaplan & Hegarty, 2006; Xu, 2007).

O sistema permite deste modo que, permanentemente, seja possível a visualização a partir de qualquer ponto da superfície da Terra de pelo menos 6 satélites. Assim, é possível o cálculo do posicionamento e a movimentação no terreno, em qualquer local do Planeta Terra. Por comparação do atraso entre a emissão do sinal, pelo satélite, e a sua captação, no receptor, é determinada a distância entre eles. Com a recepção simultânea de sinais de três satélites é possível determinar uma posição 2D (latitude e longitude) e com quatro ou mais satélites, uma posição 3D (latitude, longitude e altitude).

Em termos gerais, o sistema GPS é composto por três segmentos (El-Rabbany, 2002; Xu, 2007; figura 16):

- Espacial - constituído pelos satélites, que transmitem sinais em duas frequências moduladas. As transmissões são controladas com grande rigor por relógios atômicos de rubídio e césio, instalados nos satélites. Transmitem também mensagens de navegação que contêm elementos sobre a identificação e a órbita dos satélites, necessárias para calcular a posição dos mesmos;
- Controlo - está sediado na *Falcon Air Force Base*, em Colorado Springs (EUA), onde está situada a *Master Control Station*, mas outras estações menos importantes em diversos locais do Planeta. A função deste segmento de controlo é acompanhar constantemente os sinais enviados pelos satélites, tendo em vista verificar as órbitas dos mesmos, o funcionamento dos relógios atômicos e actualizar, sempre que necessário, as mensagens de navegação;
- Utilizadores - limitam-se a captar os sinais de alguns dos satélites e, com auxílio de equipamento e *software* adequado que aplicam uma série de algoritmos, determinam a posição, a velocidade e a hora do respectivo receptor.

Em condições normais, o nível de precisão dos sistemas de posicionamento GPS de alta resolução é da ordem centimétrica a decimétrica. O uso da técnica de correcção diferencial aumenta muito a precisão dos dados recolhidos com recurso a aparelhos GPS de alta precisão. Baseia-se na utilização de um receptor numa posição conhecida – a estação base – e outro (ou outros) GPS nas posições que se deseja determinar, chamadas estações remotas (Kaplan & Hegarty, 2006; Xu, 2007).

Os dados da posição conhecida são utilizados para determinar os erros contidos nos dados recebidos dos satélites. A degradação do posicionamento pode ter diversas causas,

isoladas ou simultâneas, estando relacionadas com perturbações na progressão do sinal provocadas por edifícios e escarpas rochosas, desajustes nos relógios dos receptores GPS, erros de órbita dos próprios satélites, número de satélites “visíveis” pelo receptor, posição dos mesmos na abóbada celeste e, eventualmente, uma degradação intencional do sinal, originada pelo Departamento de Defesa dos EUA.

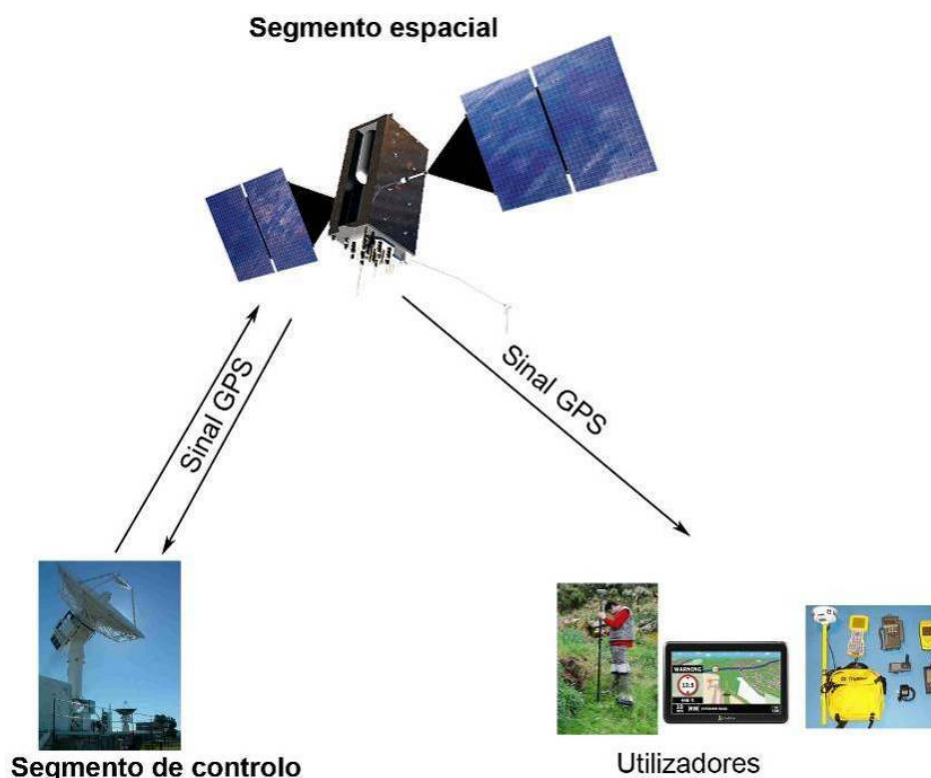


Figura 16 – Segmentos do sistema GPS (Adaptado e modificado de El-Rabbany, 2002).

À informação recolhida nas estações-base é então comparada com os dados recolhidos nas estações remotas, e aplicada a respectiva correcção. Esta pode ser aplicada em tempo real (aquando da recolha dos dados) e pós-processada (em gabinete, após a recolha dos dados). Os dados relativos a este trabalho foram corrigidos com recurso à técnica de correcção diferencial pós-processada, na qual a estação-base regista o erro de cada satélite e a estação remota também regista as suas posições na mesma hora. Mais tarde esses dados podem ser processados e corrigidos. Existem algumas instituições que mantêm antenas de GPS fixas em pontos de coordenadas conhecidas, capturando dados ao longo de todo o dia (nomeadamente o Instituto Geográfico do Exército e o Instituto Geográfico Português).

Tal como foi referido no capítulo 2.1.4, o equipamento utilizado no trabalho de campo foi o GPS de alta precisão da marca Trimble GeoXH, modelo 2008, que permite que os dados

---

recolhidos, e após a aplicação das referidas correcções, tenham precisões sempre inferiores a 50 cm, atingindo, em média, valores na ordem dos 20 cm.

#### **2.2.4. Georreferenciação, vectorização. Modelação e análise SIG**

Na digitalização dos mapas de cartografia regional e local, foi utilizado o programa “OCAD for Cartography version 9.7.0” e outros programas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tais como o ArcGIS 9.3 da ESRI e o “*Golden Software Surfer (Surface Mapping System) version 8.0*”, cujas licenças pertencem ao Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, LABCARGA|ISEP.

Deste modo, o *software* SIG usado é variado, destacando-se o ArcGis 9.3 da ESRI (Burke et al., 2001; Ormsby et al., 2004), que funcionou como *software* de base para todo o projecto e no qual se elaborou a maior parte da cartografia vectorial. O programa OCAD foi intensamente usado para a adaptação de figuras em formato vectorial. O “OCAD for Cartography version 9.7.0” é um programa de *Computer-Assisted Design* (CAD), em que a digitalização da informação a tratar se efectua em duas fases: a) rasterização, através de um digitalizador, da cartografia/imagem existente em papel indeformável; b) vectorização da imagem do mapa obtido por rasterização. Este processo pressupõe uma preparação cuidadosa, e de acordo com determinadas regras, dos mapas/imagens a digitalizar.

As técnicas e as metodologias aplicadas nos SIG baseiam-se, ainda, numa forte componente geomorfológica que vê assim renovado o seu interesse em diversos campos das geociências, apoiada em fortes ferramentas de visualização de MDT (e.g., Curran, 1985; Houlding, 1994; Wilson & Gallant, 2000). Neste trabalho apresentam-se várias aplicações de ferramentas disponibilizadas pelos SIG, tais como análise dos MDT obtidos a partir das bases de dados vectoriais a diversas escalas, sobreposição de estruturas geológicas por análise geomorfológica obtidas por imagens satélite, bem como imagens satélite da banda do infravermelho e da banda visível colorida e monocromática. Foram utilizados na validação os dados recolhidos no campo - assim como, os dados obtidos por confirmação laboratorial - essencialmente como complemento do estudo das estruturas mais dificilmente observáveis por métodos de detecção remota (e.g., estruturas sub-horizontais).

Foram executados diversos modelos digitais de terreno, tendo como base a altimetria vectorial a diferentes escalas, de forma a ser possível observar as características morfológicas do terreno sob diferentes graus de pormenor. Os dados vectoriais foram obtidos já em formato digital ou através da digitalização de cartografia em suporte de papel, como no caso da altimetria à escala 1/25.000. Após o processamento destes dados e da construção do MDT, é possível efectuar uma análise, baseada em parâmetros

---

geomorfológicos, aos dados em duas dimensões, onde se observa, por exemplo, a existência de patamares a diferentes cotas. O MDT obtido através da altimetria vectorial a 1/25.000 permitiu a determinação dos principais acidentes tectónicos que se desenvolvem na região, colocados em evidência através de uma ligeira sobre-elevação. Utilizando este modelo como base, é possível desenvolver um conjunto de operações de interpretação, utilizando as técnicas clássicas da geomorfologia apoiadas em ferramentas informáticas, as quais aceleram e facilitam a execução dos passos preliminares à sua análise. A execução de perfis sequenciados e a visualização em simulação tridimensional possibilitam verificar a existência de estruturas tectónicas e plataformas de aplanção de uma forma expedita, podendo estas ser posteriormente registadas como dados vectoriais, a processar estatisticamente. É durante este processo que se verificam as assinaturas no relevo das grandes estruturas tectónicas que modelam a superfície de cada área de estudo (Schuurman, 2004).

A análise de modelos a diferentes escalas permitiu a visualização de estruturas tectónicas distintas, uma vez que o excesso de pormenor, ou a falta deste, devido às características dos dados vectoriais que estiveram na base da construção do MDT, irão realçar aquelas que maior expressão possuem a determinada escala. A observação dos MDT oferece possibilidades acrescentadas aos clássicos estudos de geomorfologia, já que torna possível realizar uma série de operações que facilitam a observação das cicatrizes superficiais dos elementos estruturais por meio de ferramentas de realidade virtual, como sejam o deslocamento de ponto de vista dinâmico (*“fly-by”*), altura e direcção da fonte luminosa que enquadra a cena (inclusivamente para azimutes onde esta nunca seria possível nos locais de estudo), sobre-elevação dinâmica da paisagem, etc). Foram, ainda, executadas cartas temáticas, tendo em vista a exploração de possibilidades de identificação de estruturas. Entre elas, contam-se as cartas de declives e sombreamento. Da utilização destas ferramentas foi possível traçar sobre um MDT a direcção provável de alguns lineamentos tectónicos à escala do maciço, se bem que o processo possa ser utilizado a escalas maiores, desde que haja informação altimétrica e planimétrica suficientemente detalhada (Schuurman, 2004).

Neste contexto dos SIG, é ainda importante referir que, sempre que possível, se recorreu às potentes ferramentas dos *softwares* actuais, para a construção de modelos cartográficos. Assim, um modelo cartográfico é um conjunto de mapas registados numa base cartográfica comum, em que cada mapa é uma variável sujeita a operações matemáticas tradicionais, sendo a sequência de operações realizadas similar à solução algébrica de um conjunto de equações.

Na resolução dos problemas espaciais, seguiu-se o modelo conceptual ilustrado na figura 17, que tem como principal componente os critérios a definir, que são o suporte à decisão, apresentados de forma parametrizada (McCoy & Johnston, 2001). Estes critérios são de dois tipos: factores e condicionantes. Os factores permitem realçar ou retrainir uma alternativa perante todas as outras, e apresentam-se em escala contínua. As condicionantes geralmente funcionam como limitador de uma alternativa ou parte dela perante todas as outras, e expressam-se sempre sob a forma *booleana* (E, OU e NÃO).

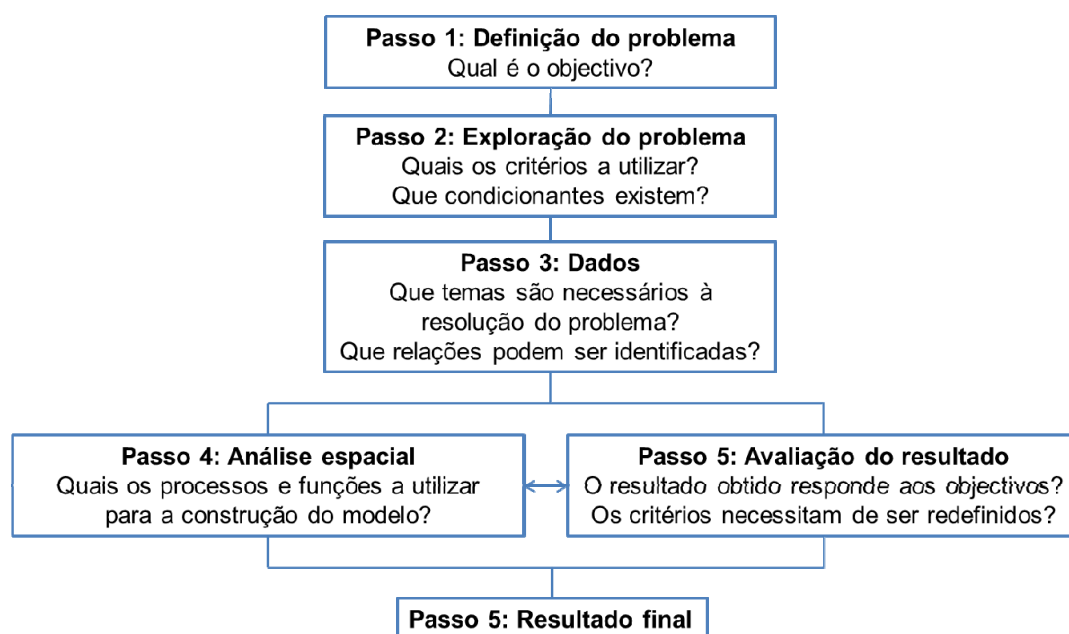


Figura 17 – Modelo conceptual usado na resolução de problemas espaciais (adaptado de McCoy & Johnston, 2001).

Os modelos cartográficos, construídos para apoiar a resolução de problemas espaciais, apresentam as seguintes vantagens (Burke et al., 2001; Ormsby et al., 2004):

- Organização das tarefas realizadas, sendo assim possível verificar, em qualquer momento, quais as operações realizadas e quais ainda faltam executar;
- Criação de diagramas das operações, organizados em processos segundo o esquema da figura 18.
- A alteração de parâmetros permite a criação de modelos flexíveis, facilitando a execução dos cálculos, efectuando rapidamente simulações para vários cenários;
- Permite documentar o processo de produção cartográfica, nomeadamente quanto às operações realizadas, bem como os parâmetros utilizados.

Os elementos constituintes do modelo correspondem aos dados de entrada existente antes do modelo (representados num símbolo oval azul), às ferramentas a serem executadas

---

(rectângulo amarelo), à informação de saída produzida pelo modelo (representado num símbolo oval verde), e aos conectores (setas) mostrando a sequência de processamento, no software ArcGis 9.3 (Burke et al., 2001; Ormsby et al., 2004).

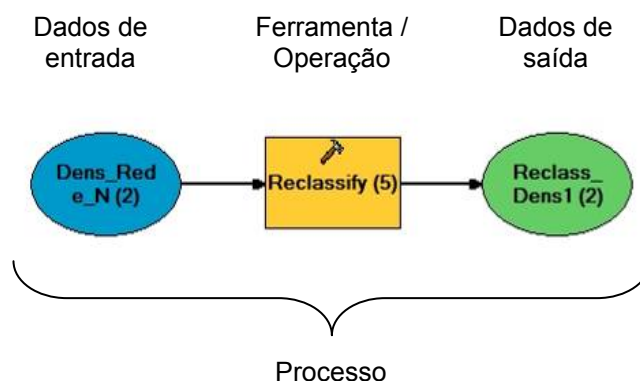


Figura 18 – Esquema básico de construção de modelos espaciais (adaptado de Ormsby et al., 2004).

Os recentes avanços tecnológicos na área dos SIG e da detecção remota conferiram a estas ferramentas uma importância fulcral nos estudos aplicados nas mais diversas áreas do conhecimento, nomeadamente no domínio das ciências da Terra e do ordenamento do território (Chowdary et al., 2003; Chowdary et al., 2009).

Aplicando estas novas técnicas e tecnologia, foi criada, em ambiente SIG, uma base de dados geográfica, organizada em diferentes níveis de informação, focada sobretudo na geologia (litologia, estrutura, grau de alteração), uso do solo, rede de drenagem, declives e precipitação.

Aplicando uma metodologia de cruzamento de dados, os diferentes níveis de informação foram sobrepostos e analisados, considerando diferentes factores de ponderação para cada nível. Esta metodologia SIG permitiu a criação de diversos mapas temáticos, que culminou numa visão integradora de todos os factores para a área em estudo, e em que serão avaliadas, por exemplo, as áreas com maior potencial de infiltração (i.e., as áreas que reúnem um conjunto de condições favoráveis à infiltração (figura 19).

Os factores que influenciam o potencial de infiltração de uma determinada área (i.e., litologia, estrutura, grau de alteração, densidade de lineamentos tectónicos, uso do solo, densidade de drenagem, declives e precipitação), bem como os seus pesos relativos, foram compilados e adaptados a partir dos trabalhos de referência (e.g., Krishnamurthy et al., 1996, Jha et al., 2007; Yeh et al., 2009, entre outros). Os valores atribuídos a cada um dos factores usados são dependentes das suas características intrínsecas, e foram obtidos sobretudo através dos trabalhos de campo realizados, e nalguns casos, através da literatura de referência.

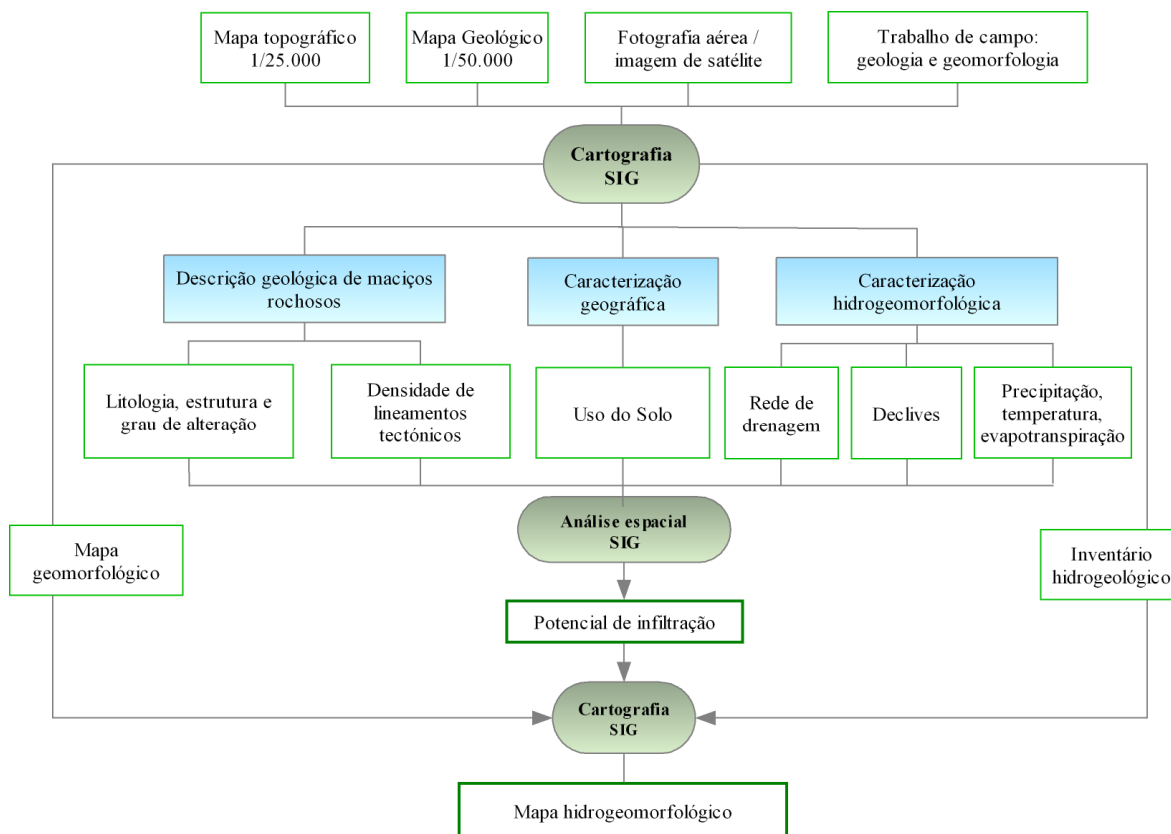


Figura 19 - Modelo Conceitual da metodologia SIG usada na construção da cartografia hidrogeomorfológica aplicada aos recursos hídricos (adaptado de Teixeira et al., 2010a).

Os diferentes factores considerados na identificação das áreas com maior potencial de infiltração foram agrupados em três categorias principais: descrição geológica de maciços rochosos, caracterização geográfica, e caracterização hidrogeomorfológica. Os mapas de base produzidos, com os seus valores específicos e peso relativo, foram usados para calcular as áreas de maior potencial de infiltração, através das funções de análise espacial do software *ESRI ArcGis 9.3*. Para a análise espacial, foi usada uma estrutura matricial (grelha quadrangular de células), em que o valor da célula resultante corresponde à soma ponderada dos diferentes factores. A análise SIG realizada resulta num mapa que reflecte, especialmente, as áreas com um índice potencial de infiltração mais elevado, que pode variar entre 0 e 100. Os valores mais elevados são atingidos nas células onde os diversos factores têm valores mais elevados. O mapa intermédio obtido foi então sobreposto com o mapa geomorfológico e com o inventário hidrogeológico de campo, permitindo chegar a um mapa hidrogeomorfológico, que reflecte as principais características hidrogeomorfológicas da área.



---

### **2.2.5. Análise hidrogeoquímica: AquaChem**

Para a análise hidrogeoquímica foi usado o *software AquaChem®* da *Waterloo Hydrogeologic, Inc. (Schlumberger Water Services)*, que é um programa geo-informático aplicado à modelação química de águas subterrâneas. As suas ferramentas de análise abrangem uma vasta gama de funções e cálculos utilizados para a análise, interpretação e comparação de dados sobre a qualidade da água. Estas ferramentas incluem, entre outras, a conversão de unidades simples, equilíbrios de carga, estatísticas e mistura de amostras, até funções mais complexas, como, por exemplo, matrizes de correlação e cálculos de geotermómetros. Estas poderosas capacidades analíticas são complementadas por uma selecção abrangente de técnicas de representação gráfica para ilustrar as características hidrogeoquímicas e da qualidade da água, que se explicitarão nos capítulos seguintes.

O *AquaChem®* usa, como dados de entrada, os valores de medição comuns em análises laboratoriais para cada amostra (catiões e aniões), com a finalidade de calcular valores geoquímicos adicionais (eg., tipologia da água, somatório de aniões e catiões, balanço iónico, total de sólidos dissolvidos, dureza, alcalinidade, relações iónicas comuns, razão de adsorção de sódio, saturação de oxigénio, entre outros). As funcionalidades para análise de dados incluem: comparação de amostras, matrizes de correlação, amostras de qualidade da água e verificação da fiabilidade dos dados. O *AquaChem®* inclui, ainda, uma lista abrangente de funcionalidades estatísticas, optimizadas para funcionar com o conjunto de dados de qualidade da água.

### **2.2.6. Representações gráficas utilizadas**

Uma das características mais poderosas do *AquaChem* é a respectiva capacidade para gerir, criar e apresentar graficamente, de forma eficaz, uma grande diversidade de dados sobre a qualidade da água. Inclui uma selecção diversificada constituída por mais de 23 representações gráficas de norma comum, que incluem: diagramas de Piper, Schoeller, dispersão, extremos e quartis (“caixa de bigodes”), série temporal, histograma, Stiff, radial e circular. É ainda possível interagir com os gráficos de forma dinâmica e é possível uma rápida identificação dos pontos seleccionados nas representações gráficas entretanto criadas. Descrevem-se seguidamente as representações gráficas usadas neste trabalho, o diagrama de Piper e o diagrama de Stiff.

## Diagrama de Piper

É um diagrama hidroquímico que representa graficamente o resultado de análises químicas, sendo muito utilizado quando o número de análises químicas de água é elevado. Com ele, pode efectuar-se uma comparação entre as amostras e classificar os diversos tipos de água quanto aos iões dominantes (Fetter, 2001). Corresponde a um diagrama trilinear (figura 20) no qual são projectados os principais aniões e catiões. A projecção dos iões é feita em percentagem, relativamente ao total, a partir da sua concentração expressa em miliequivalentes por litro (meq/L).

Assim, com este diagrama é possível determinar rapidamente a fácies hidrogeológica de uma água (e.g., cloretada sódica, bicarbonatada cálcica, etc), bem como identificar quais são os principais elementos constituintes (dominantes ou não) de determinada água.

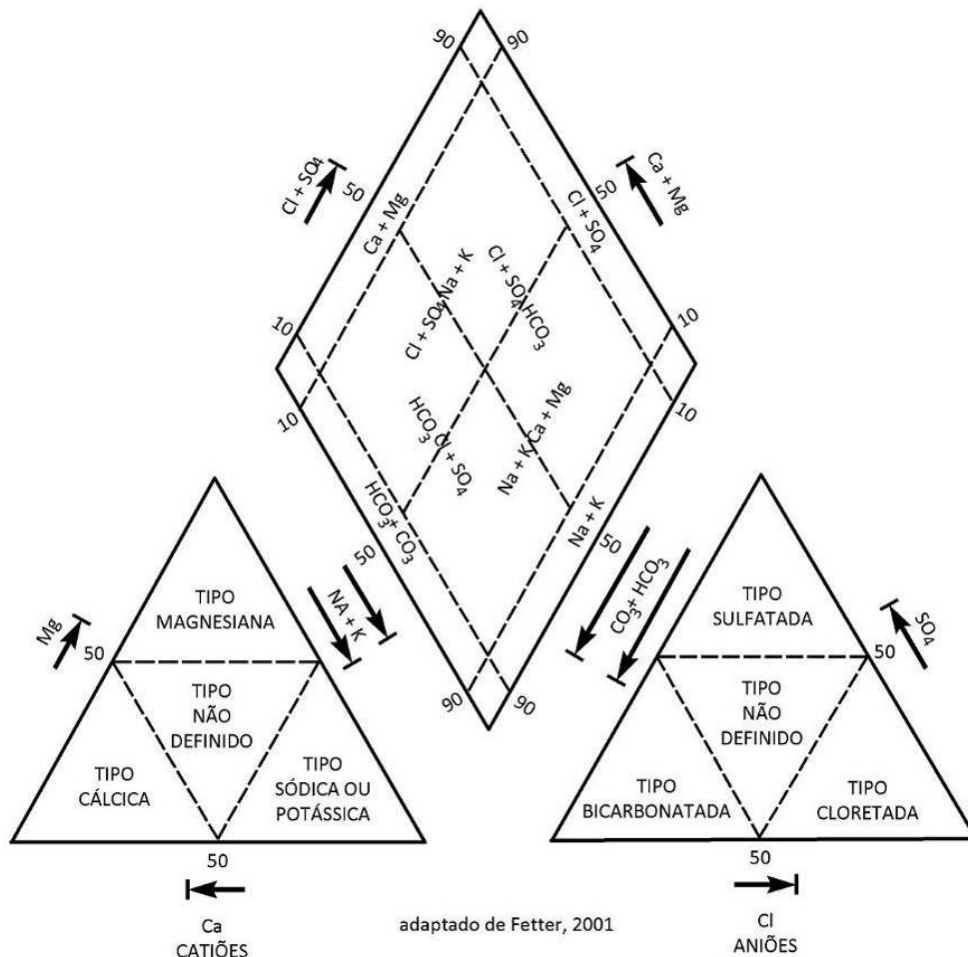


Figura 20 - Exemplo de diagrama de Piper (adaptado de Fetter, 2001).

## Diagramas de Stiff

O diagrama de Stiff é um diagrama hidroquímico que representa graficamente o resultado da análise química de uma água, onde as concentrações dos cátions Na+K, Ca, Mg e Fe e dos aniões Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> e NO<sub>3</sub> são representadas em meq/L ou percentagem de meq/L, sobre quatro rectas paralelas, horizontais e igualmente espaçadas entre si. Estas quatro rectas são cortadas por uma normal, obtendo-se assim dois campos, um para os cátions e outro para os aniões. A união das extremidades obtidas permite a obtenção de polígonos característicos para as águas analisadas. No caso das águas subterrâneas é mais adequada a utilização do Diagrama de Stiff Modificado, com apenas três rectas, correspondentes aos cátions Na+K, Ca, e Mg e aos aniões Cl, HCO<sub>3</sub> e SO<sub>4</sub> (Fetter, 2001). O diagrama de Stiff é muito útil para comparar diversos tipos de águas, especialmente muito mineralizadas, sendo um dos gráficos mais utilizados para representar a análise hidroquímica de águas em mapas hidrogeológicos (Figura 21).

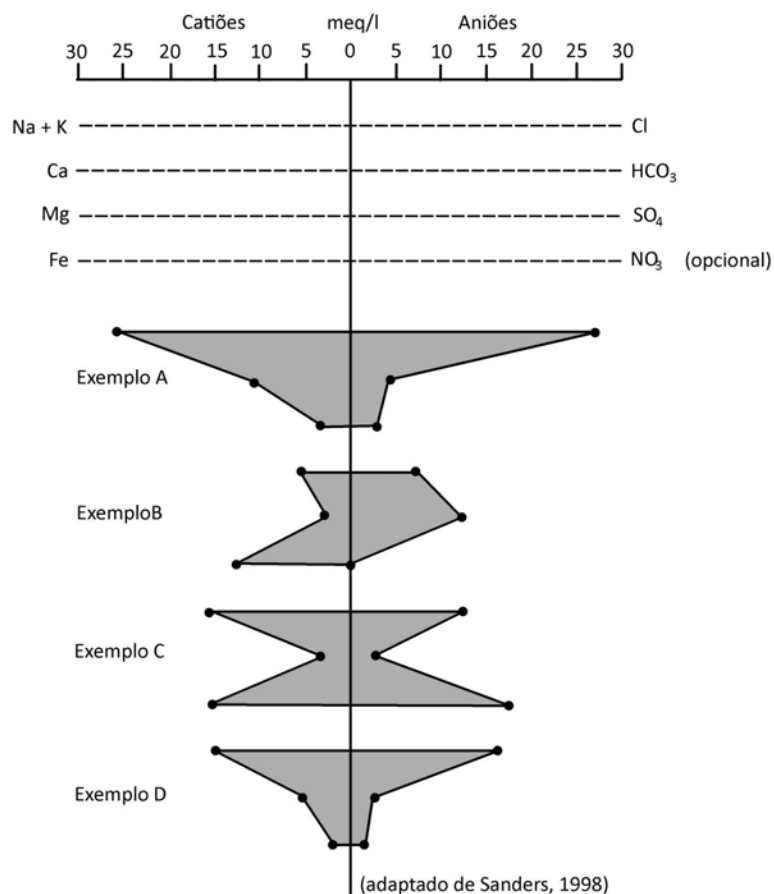


Figura 21 - Exemplos de diagramas de Stiff (adaptado de Sanders, 1998).



---

### **3. Hidrogeomorfologia e Recursos Hídricos: fundamentos e aplicações**



---

### **3. Hidrogeomorfologia e Recursos Hídricos: fundamentos e aplicações**

#### **3.1. Recursos hídricos subterrâneos: propriedades dos aquíferos e das rochas cristalinas**

##### **3.1.1. Generalidades**

A água é uma componente abundante no planeta Terra, encontrando-se nos seus três estados físicos (sólido, líquido e gasoso). A água é uma componente essencial na constituição dos seres vivos, onde assegura a maior parte das funções inerentes ao seu metabolismo, sendo, conseqüentemente, imprescindível (e.g., Marsily, 1997; World Bank, 2004).

Apesar da sua enorme disponibilidade no planeta, a água com características apropriadas para consumo humano é muito escassa. De toda a água existente no planeta, 97% é salgada e encontra-se nos oceanos, e, portanto, não é utilizável para consumo humano. Dos restantes 3%, 77% está nas calotes polares e glaciares, 22% constituem a água subterrânea e 1% corresponde aos rios, lagos, solos e atmosfera. Excluída a água das calotes geladas e glaciares, a água doce utilizável representa 8.500.000 km<sup>3</sup>, isto é 0,6% de toda a água do nosso planeta (e.g., Marsily, 1997; Lencastre & Franco, 2006).

Aliada a esta escassez, a sua distribuição geográfica é desigual. Como tal, este recurso é fonte de enormes conflitos que já remontam ao tempo dos Sumérios (cerca de 3000 anos A.C.), prolongando-se até aos dias de hoje, num total de cerca de 150 registos, com especial incidência nos últimos anos (Sironneau, 1998; Burke & Moench, 2000; UNESCO/IHP, 2006; Pacific Institute, 2011). A água tornou-se assim, naturalmente, um importante elemento geoestratégico e geopolítico.

Esta dependência tão acentuada da água, e devido à escassez das águas superficiais em certas regiões, levou à exploração de águas subterrâneas (Mays, 2010). Documentos e vestígios arquitectónicos de antigas galerias, poços, reservatórios, canais de irrigação e aquedutos permitem-nos constatar que já antes da nossa era se realizava a exploração de água de uma forma racional (figura 22). Actualmente assiste-se, em muitos países industrializados, a um verdadeiro “assalto” à água subterrânea, devido aos avanços no campo das tecnologias de furação e extracção de água subterrânea. Em alguns destes países, os aquíferos mostram sinais claros de contaminação (e até de poluição) e mesmo de esgotamento (Dickie, 2006).

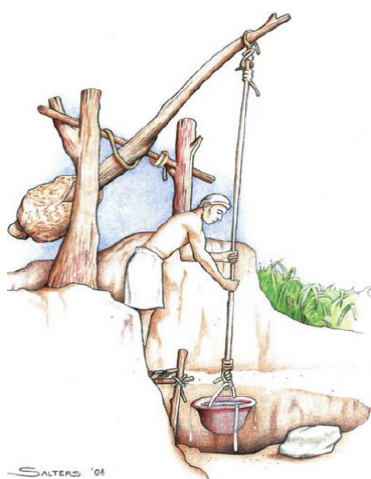


Figura 22 - Reconstituição do sistema “Shaduf” (Mesopotâmia, ca. 2300 A.C.) e na actualidade; aquedutos e cisternas de água construído pelos Romanos (segundo Mays, 2010).

### 3.1.2. O Ciclo hidrológico

Sendo a água uma substância natural que existe em todos os três estados da matéria, e uma vez que a quantidade água na Terra permanece igual, tal implica que haja transferências de um estado para outro, num ciclo paulatino e permanente. Este sistema dinâmico pelo qual a água passa do globo terrestre para a atmosfera e regressa é designado por Ciclo Hidrológico ou Ciclo da Água (e.g., Marsily, 1986; Custodio & Llamas, 2001), cujo diagrama esquemático se apresenta na figura 23.

O ciclo da água inicia-se com a energia solar que incide no Planeta Terra. A transferência da água da superfície terrestre para a atmosfera, passando do estado líquido ao estado gasoso, processa-se através da evaporação directa, por transpiração das plantas e dos animais e por sublimação (passagem directa da água da fase sólida para a de vapor). Uma vez na atmosfera, a diminuição da temperatura em altitude faz com que o vapor de água condense, formando nuvens e dando origem à precipitação (Marsily, 1997).





Figura 23 - Ciclo hidrológico ou ciclo da água (Adaptado de USGS, 2011).

A água que atinge o solo tem diferentes destinos (figura 24). Uma parte é devolvida à atmosfera através da evaporação, outra infiltra-se no subsolo, alimentando os aquíferos, enquanto que a restante, escorre sobre a superfície em direcção às áreas de altitudes mais baixas, alimentando directamente os lagos, ribeiros, rios, mares e oceanos.

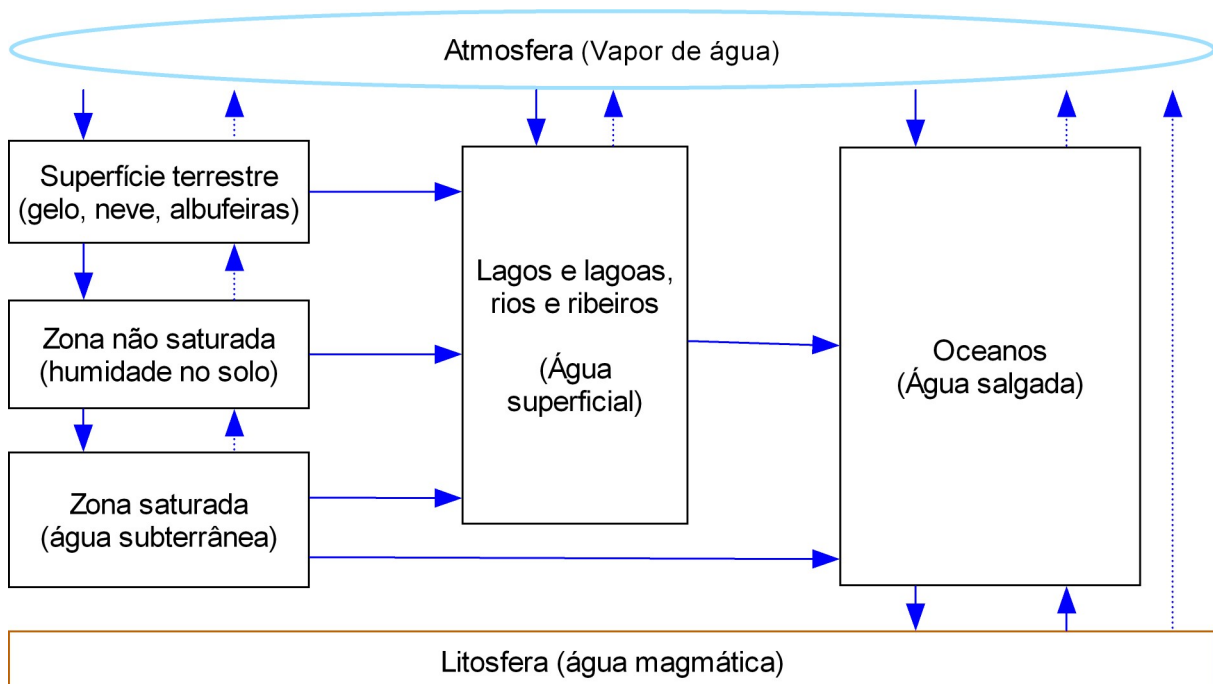


Figura 24 - Esquema de circulação da água na Terra (Adaptado de Fetter, 2001).

---

O ciclo hidrológico actua, assim, como um agente modelador da superfície terrestre, devido à erosão e ao transporte e deposição de sedimentos por via hidráulica, condicionando a cobertura vegetal e, de modo mais genérico, todos os ecossistemas na Terra. Este ciclo é, pois, um dos pilares fundamentais do ambiente.

### 3.1.3. Propriedades dos aquíferos

Devido à diferente constituição e estrutura do substrato rochoso, pode identificar-se uma grande variedade de formações geológicas com capacidades diferenciadas para armazenar e transmitir a água. Em hidrogeologia dividem-se geralmente as formações geológicas em quatro grupos, tendo em conta as suas propriedades de armazenamento e transmissividade (e.g., Custodio & Llamas, 2001; Fetter, 2001): aquíferos, aquícludos, aquíardos e aquífugos (quadro 6).

Quadro 6 - Água subterrânea e comportamento das formações geológicas (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Tipos	Capacidade de armazenamento	Capacidade de drenância	Capacidade de transmitir água	Formações geológicas (exemplos)
Aquíferos	Alta	Alta	Alta	Cascalhos, areias, calcários
Aquíardos	Alta	Média a baixa	Baixa	Sítes, areias síltosas e argilosas
Aquícludos	Alta	Muito baixa	Nula	Argilas
Aquífugos	Nula	Nula	Nula	Granitos, gnaisses, mármores

Um **aquífero** é qualquer formação geológica subterrânea, permeável, capaz de armazenar água e que permite a circulação desta pelos seus poros, fissuras e fracturas, de modo que o Homem possa aproveitá-la em quantidade economicamente viável para satisfazer as suas próprias necessidades e abastecer as actividades relacionadas com a agricultura, indústria e pecuária. Nos aquíferos podem ser executadas captações para satisfação das necessidades humanas.

O **aquíardo** é uma formação geológica capaz de armazenar grandes quantidades de água, mas transmite-a muito lentamente, pois é uma formação semipermeável e a sua capacidade de drenagem é média a baixa não permitindo a realização de captações de água. Contudo, permite recargas verticais de outros aquíferos que se situem sobre ou subjacentes, ou receber água dos mesmos, através de grandes superfícies.

Por seu turno, um **aquícludo** define-se como uma formação geológica contendo água no seu interior até à saturação, mas não a transmite, visto que há muita dificuldade no

movimento da água. Como a água não circula, pois encontra-se encerrada nos poros da formação e não pode ser libertada, não é possível a sua captação.

A formação geológica que é incapaz de armazenar e transmitir água dá-se o nome de **aquífugo**. Um exemplo de formação rochosa do tipo aquífugo é o granito são, compacto, não fracturado.

Actualmente, a designação de aquífugo e de aquífugo caiu em desuso, sendo frequente a designação de camada confinante englobando esta os conceitos de aquífugo e mesmo de aquífugo, entretanto considerados obsoletos na literatura técnica (Carvalho, 2006; Rodrigues et al., 2010).

Os aquíferos podem ainda ser divididos em diferentes tipos, de acordo com a sua estrutura, a saber (adaptado de González de Vallejo et al., 2002):

- Aquíferos porosos (figura 25);
- Aquíferos fissurados (figura 26);
- Aquíferos cársicos (figura 27).

Os aquíferos porosos apresentam porosidade intergranular. A textura granular do meio permite que a água circule e se armazene entre os grãos constituintes. Esta elevada capacidade de armazenamento e circulação de água pode, em grande parte, ser comprometida por camadas mais finas ou argilosas, uma vez que em geral os meios porosos não são (a não ser a pequenas escalas) totalmente homogêneos. São exemplos deste tipo de aquíferos, as aluviões constituídas, essencialmente por cascalhos e areias (figura 25).

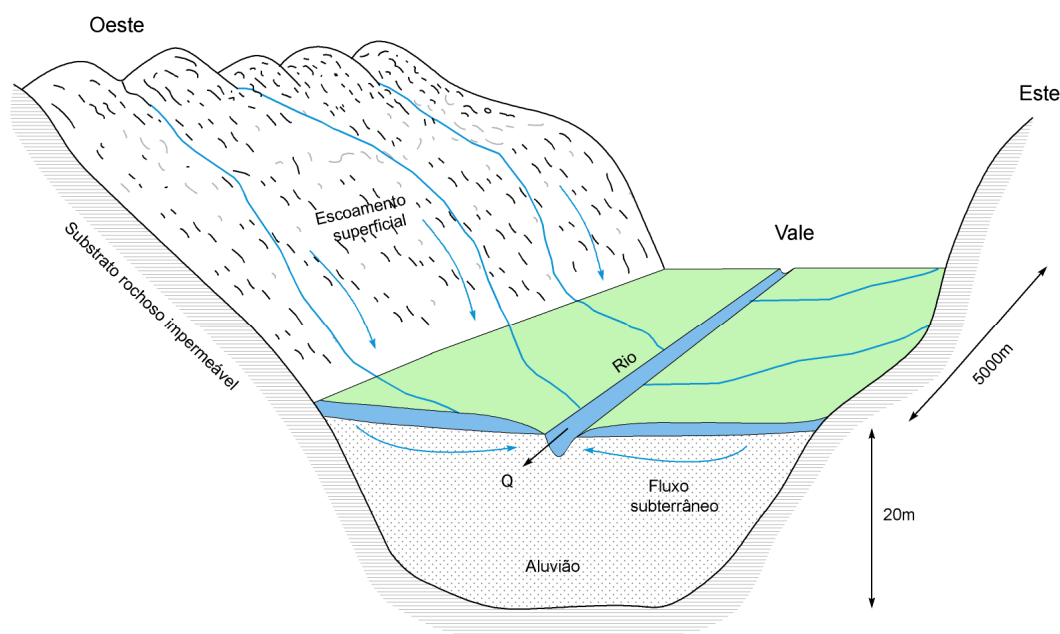


Figura 25 – Representação esquemática de de um aquífero poroso (adaptado de Hiscock, 2005).

Os aquíferos cuja permeabilidade se deve a falhas, a fracturas e a diaclases denominam-se fissurados ou fracturados (figura 26). A porosidade e a permeabilidade destes aquíferos estão dependentes sobretudo da existência de falhas e fracturas, da sua quantidade, abertura e interconectividade. Os tipos de formações rochosas mais representativas deste tipo de aquíferos correspondem rochas cristalinas (nomeadamente as magmáticas, as metamórficas e as metassedimentares: e.g., granito, xisto, quartzito).

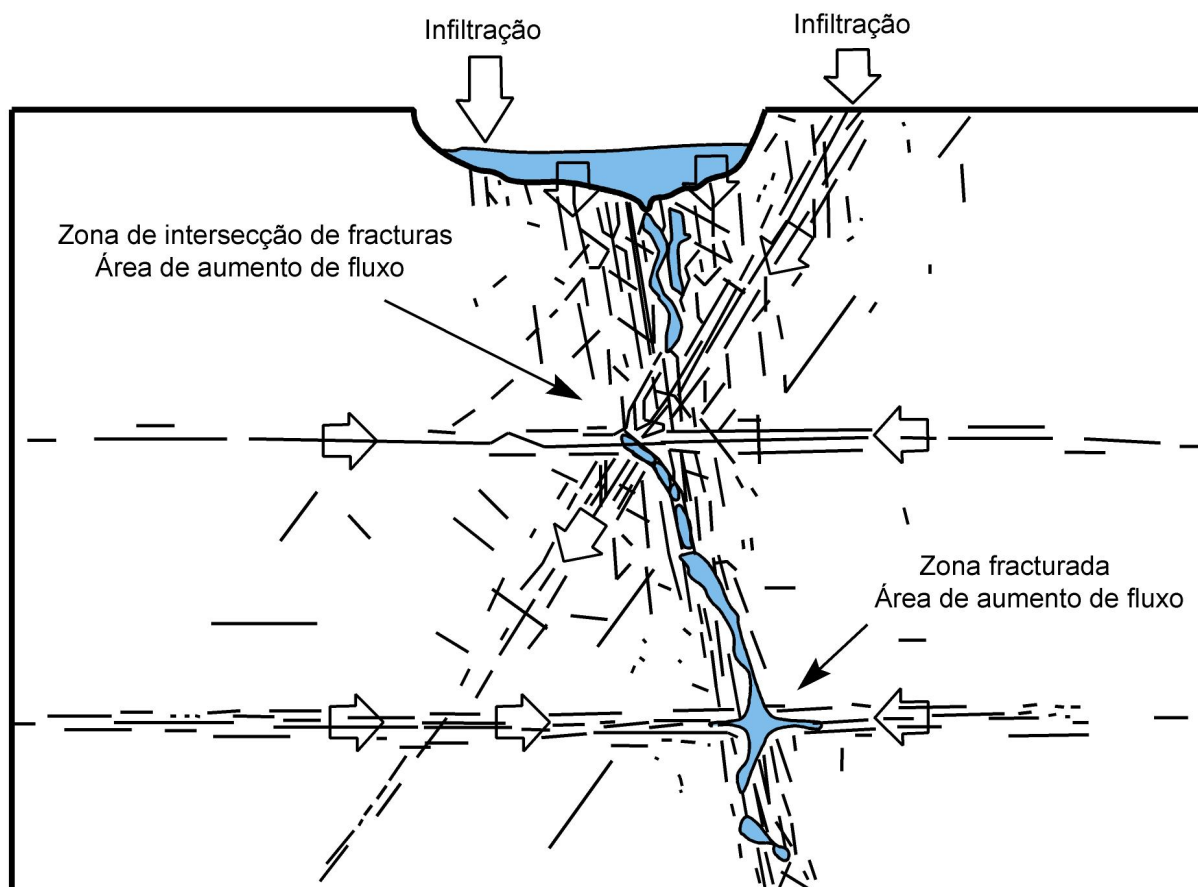


Figura 26 – Esquema de um aquífero fracturado (adaptado de Bisson & Lehr, 2004).

Os aquíferos cársicos caracterizam-se pela existência de cavidades, originadas pela dissolução da rocha, que permitem o armazenamento e circulação da água (figura 27). Têm por base as rochas carbonatadas (e.g., calcários e dolomitos) sendo, em geral, pouco homogêneos e extremamente vulneráveis à poluição.

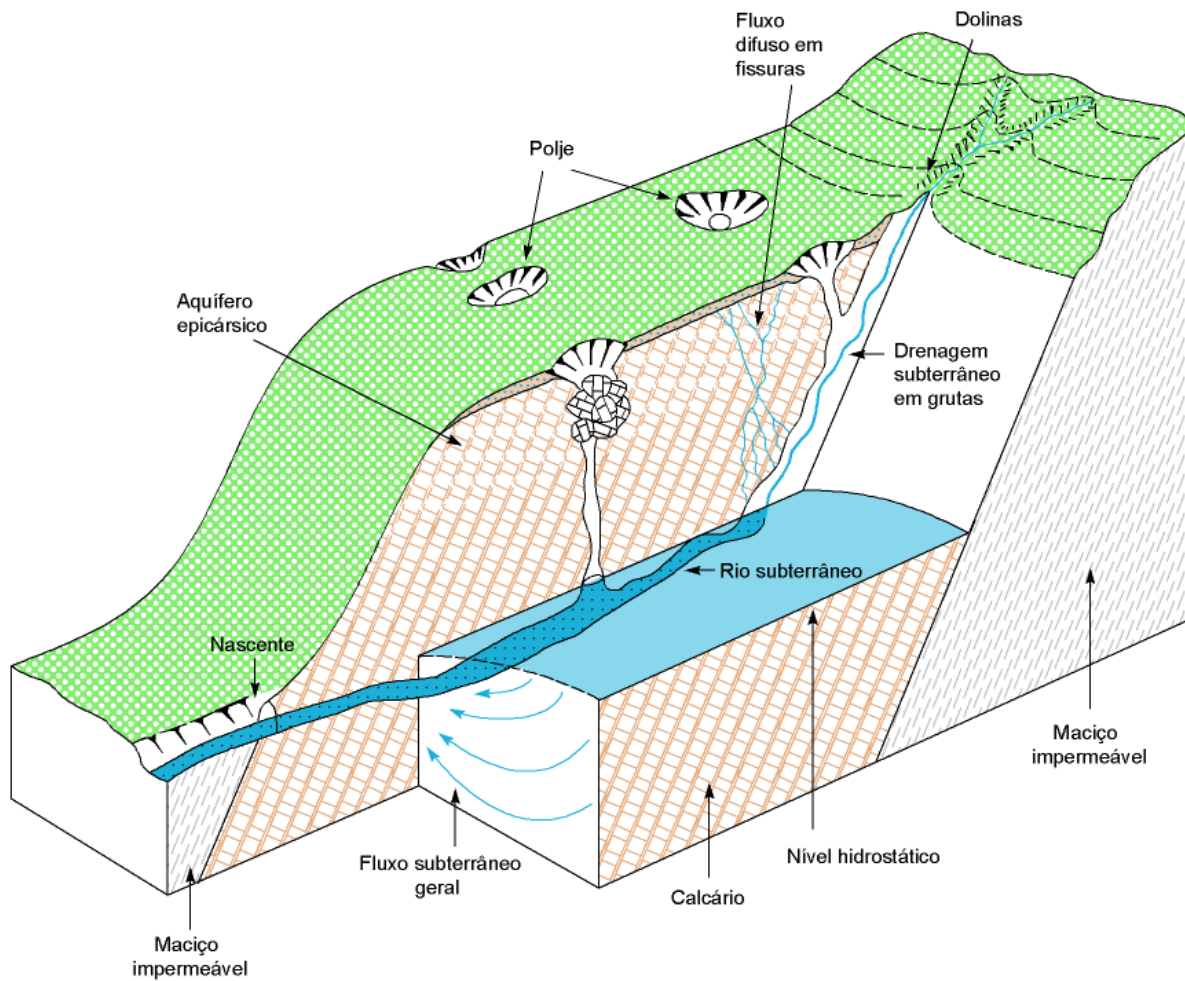


Figura 27 – Exemplo de um aquífero cársico (adaptado de Hiscock, 2005).

De acordo com as características hidráulicas e estruturais, os aquíferos podem funcionar de três formas distintas (Fetter, 2001; González de Vallejo et al., 2002; Hiscock, 2005):

- Aquíferos livres
- Aquíferos cativos ou confinados
- Aquíferos semi-confinados
- 

Os  **aquíferos livres**  não são limitados superiormente por níveis confinantes (figura 28). Assim, a água subterrânea armazenada neste tipo de aquífero encontra-se à pressão atmosférica. Num aquífero livre a água apenas preenche uma parte do aquífero, e o nível da água pode subir ou descer livremente. Num furo realizado neste aquífero, o nível de água no furo será o mesmo que o nível freático do aquífero. O nível freático segue,  *grosso modo* , a topografia da superfície topográfica, resultando num nível freático com colinas, vales e áreas planas. Este tipo de aquíferos é recarregado directamente pela infiltração da água superficial e precipitação, e são, geralmente, muito vulneráveis a problemas de contaminação (Custodio & Llamas, 2001).

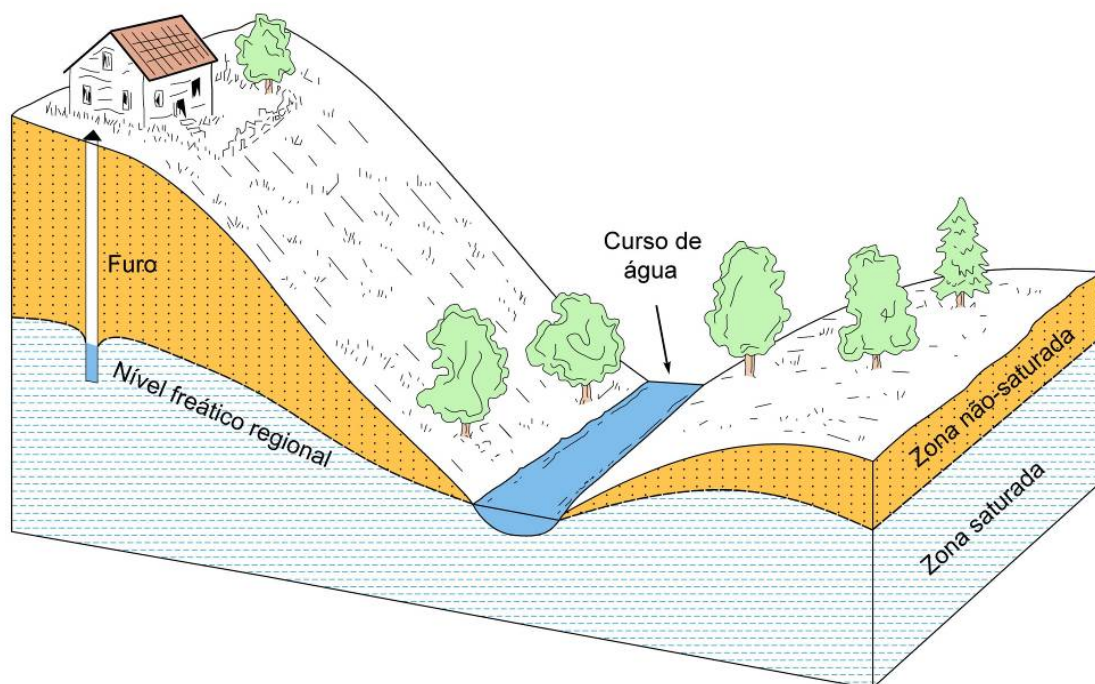


Figura 28 – Exemplo de um aquífero livre (adaptado de Fetter, 2001).

Os aquíferos suspensos são um caso especial de um aquífero livre, formado sobre uma camada impermeável ou semi-permeável de extensão limitada, situada entre a superfície freática regional e a superfície do terreno. Este tipo de aquíferos drenam para o nível freático subjacente, têm normalmente um carácter temporário, e baixas produtividades (Custodio & Llamas, 2001; Fetter, 2001).

Os **aquíferos cativos ou confinados** estão limitados superior e inferiormente por materiais impermeáveis. Nestes aquíferos, o nível da água encontra-se acima do tecto do aquífero, estando sob pressão dos materiais superiores (figura 29).

No entanto, na Natureza, são raras as formações confinantes completamente impermeáveis. Estas inibem a circulação de água, reduzindo a sua entrada ou saída no aquífero. O grau de redução deste movimento depende essencialmente da espessura e composição das camadas confinantes. A água sob pressão no aquífero confinado faz com que a superfície potenciométrica (ou piezométrica) possa, eventualmente, ser superior à camada confinante superior do aquífero. Assim, um furo realizado neste tipo de aquífero terá um nível da água igual à superfície piezométrica, designando-se vulgarmente por furo artesiano. Em certos casos, a superfície piezométrica poderá mesmo ultrapassar a cota da superfície topográfica, originando um furo artesiano surgente (ou repuxante).

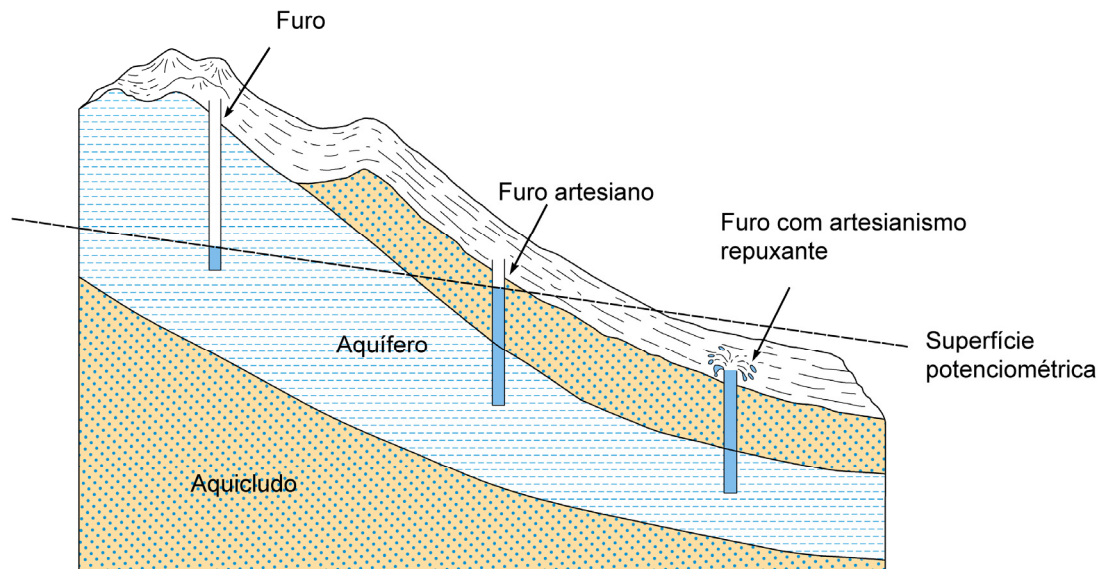


Figura 29 – Aquífero confinado e comportamento dos furos realizados neste tipo de aquífero (adaptado de Fetter, 2001).

Os  **aquíferos semi-confinados**  (figura 30) estão limitados por materiais permeáveis e impermeáveis, correspondendo a um sistema físico integrado por um aquífero superior bem alimentado, uma formação semi-permeável e um aquífero inferior semi-confinado. A parte superior é constituída por formações semi-permeáveis que permitem a passagem da água de outros aquíferos superiores ao semi-confinado, permitindo assim a sua recarga, ainda que a taxas reduzidas. A diferença de níveis ( $\Delta h$ ) entre o aquífero superior e o inferior conduz a uma drenância vertical da água que alimenta o aquífero inferior (Fetter, 2001).

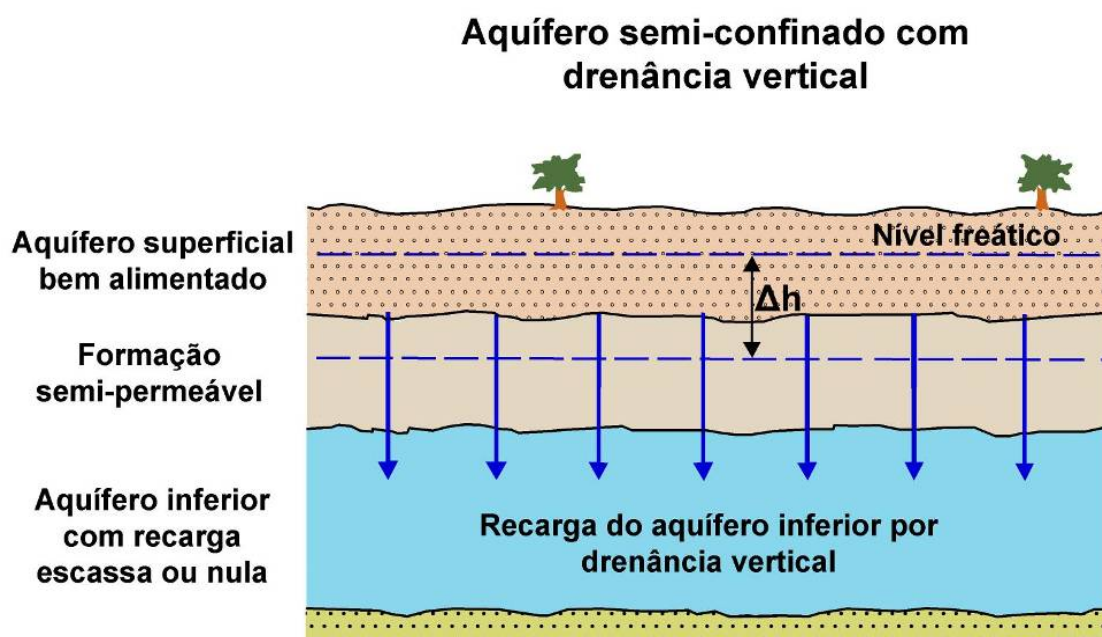


Figura 30 – Esquema de um aquífero semi-confinado (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

A extracção de água num poço ou furo leva ao rebaixamento do nível da água no mesmo e no aquífero circundante. Contudo, o nível da água desce mais na captação do que no aquífero, diminuindo gradualmente à medida que aumenta a distância até que a sua influência seja nula. Este raio de influência formado em torno do poço ou furo corresponde, grosso modo, a um grande cone em termos de superfície de influência, que se designa por superfície piezométrica dinâmica (González de Vallejo et al., 2002). O nível da água, referido ao terreno, nessa superfície corresponde ao nível dinâmico. O nível que existia antes da extracção corresponde ao nível estático (figura 31).

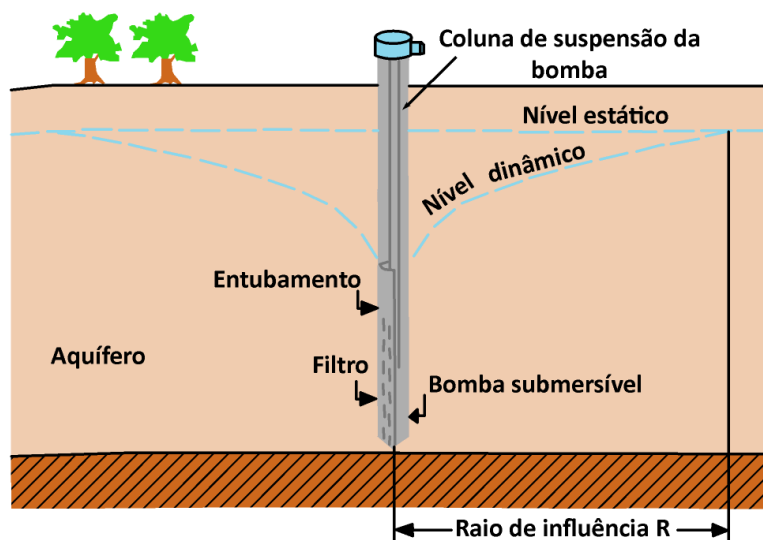


Figura 31 - Cone de superfície de influência na bombagem de um furo (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

#### **3.1.4. Movimento da água nos aquíferos**

Em termos de circulação de água no solo e no subsolo podem distinguir-se quatro zonas onde o movimento da água tem características próprias e leis particulares, a saber (Custodio & Llamas, 2001; González de Vallejo et al., 2002): zona de evapotranspiração, zona intermédia, franja capilar e zona saturada (figura 32).

- **Movimento da água na zona de evapotranspiração**

A zona não saturada estende-se desde a superfície do terreno até a parte superior da zona saturada, em que os poros estão preenchidos com água e ar. A água na zona não saturada está sob pressão negativa, devido à tensão superficial entre ela e o ambiente geológico, assumindo-se que o ar na zona não saturada pode mover-se livremente, a partir da superfície do solo, através de todos os espaços porosos abertos (Cleary, 1989).



A pressão negativa (relativa à pressão atmosférica) na zona não saturada é algumas vezes chamada potencial de sucção, pressão capilar ou tensão capilar. Esta é causada pelo fenómeno de humedecimento do material geológico pela água, e o valor dessa pressão capilar depende do conteúdo de humidade do solo (Custodio & Llamas, 2001).

Na parte mais superficial das formações aquíferas encontra-se uma zona húmida que está em contacto com a atmosfera e que se caracteriza pela alta porosidade e abundância de matéria orgânica. Nesta zona, o movimento da água faz-se pelos processos de armazenamento, evaporação e transpiração. O solo pode armazenar uma quantidade de água, sendo esta reserva necessária para que as plantas possam viver, reserva essa que é recarregada através da precipitação. Se o solo fica saturado, passa a existir um excedente que escorre pela superfície, ou graviticamente, para a zona saturada, estabelecendo o processo de infiltração. Em casos de períodos prolongados sem precipitação, as plantas consomem a reserva de água por evapotranspiração até ao seu esgotamento, enchendo de novo a reserva quando voltar a chover.

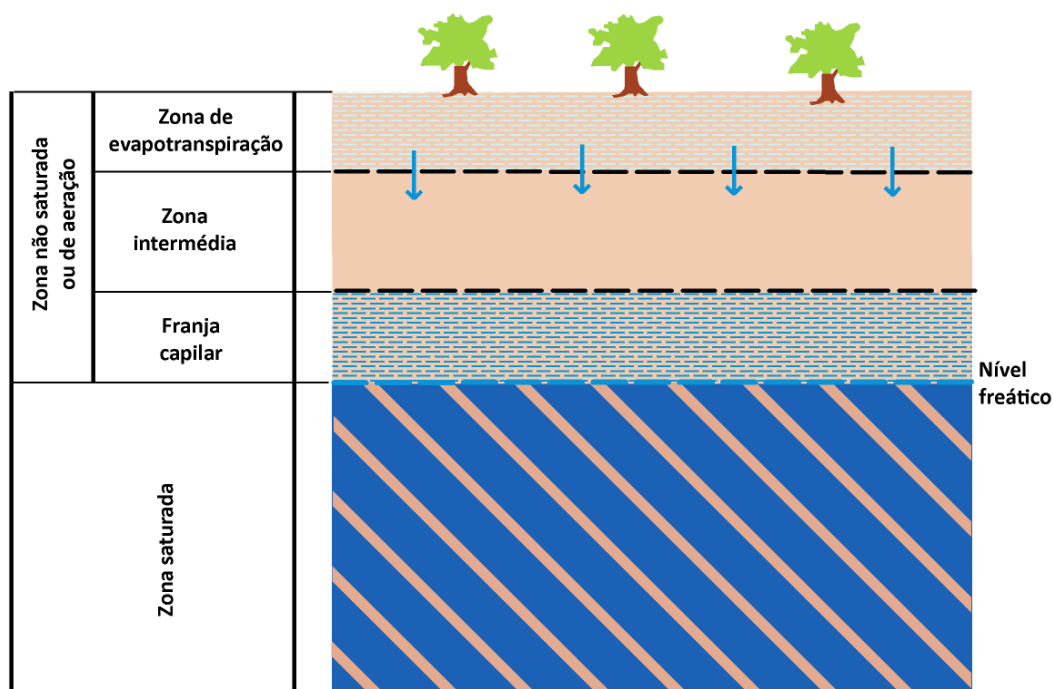


Figura 32 – Zonas de circulação de água solo e subsolo (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

- **Movimento da água na zona intermédia**

Na zona intermédia (por vezes também designada por subsolo), o movimento da água é essencialmente vertical e em sentido descendente, embora ocasionalmente e dependendo das circunstâncias locais possa ser alterado.

---

- **Movimento da água na franja capilar**

A franja capilar caracteriza-se por ser a transição entre as zonas não saturada e a saturada. Na parte superior da franja capilar, as bolsas de ar podem impedir o movimento descendente da água, e na parte inferior o movimento da água é muito semelhante ao movimento desta na zona saturada.

A altura da franja capilar varia de alguns centímetros, nos terrenos de cascalho, a vários metros em formações geológicas mais argilosas. Quanto mais finos forem os grãos constituintes, maior será a altura atingida acima do nível piezométrico, devido aos efeitos da sucção capilar (Cleary, 1989).

Como Bouwer (1978) e Heath (1982) apontaram, a água na franja capilar move-se, embora com uma velocidade que variável ao longo da sua extensão, na mesma direcção que a água subterrânea na zona saturada.

- **Movimento da água na zona saturada**

Na zona saturada, todos os espaços porosos ou fracturas existentes estão completamente preenchidos por água. O limite superior desta zona é designado nível freático (figura 32). A superfície piezométrica corresponde à superfície que une os pontos de carga hidráulica igual no seio da formação aquífera e deve ser distinguido do nível freático, que é o lugar dos pontos do aquífero no qual a carga de pressão é zero, e coincide com a superfície da água em aquíferos livres. Em aquíferos livres, e em condições de não-existência de fluxos verticais, a superfície piezométrica e superfície freática são coincidentes (González de Vallejo et al., 2002).

A água na zona saturada circula a partir de pontos de carga hidráulica maior para pontos de carga hidráulica menor, ou seja, áreas de alta para baixa energia. Consequentemente a água na zona saturada pode mover-se horizontalmente e verticalmente, para cima ou para baixo, independente da situação em cota das formações aquíferas, condicionada pela carga hidráulica existente em cada local.

A figura 33 ilustra, de forma esquemática, os tempos de residência da água subterrânea nos aquíferos, estando representados dois aquíferos confinados profundos, (B e C), subjacentes a um aquífero livre (A). Parte da precipitação que cai na área de recarga infiltra-se, recarregando assim os aquíferos confinados inferiores. Uma vez que a superfície hidrostática do aquífero livre é superior ao das superfícies potenciométricas dos dois aquíferos confinados (indicadas pelas linhas tracejadas), ocorre a drenância vertical descendente em direcção aos aquíferos confinados. Esse movimento descendente é extremamente lento e, para alguns aquíferos profundos, pode levar muitos anos para que a água atinja grandes profundidades. O fluxo horizontal nos aquíferos confinados pode ser

igualmente um processo muito lento, levando desde décadas até milhares de anos para finalmente atingir as áreas de descarga. Geralmente, quanto mais profundo o aquífero, maior é o tempo para que uma partícula de água se desloque de uma área de recarga para uma área de descarga. Durante esse longo período de tempo, a água interage com os materiais geológicos, assimilando diversos componentes iônicos, facto que explica a elevada mineralização da água proveniente de aquíferos muito profundos (Cleary, 1989).

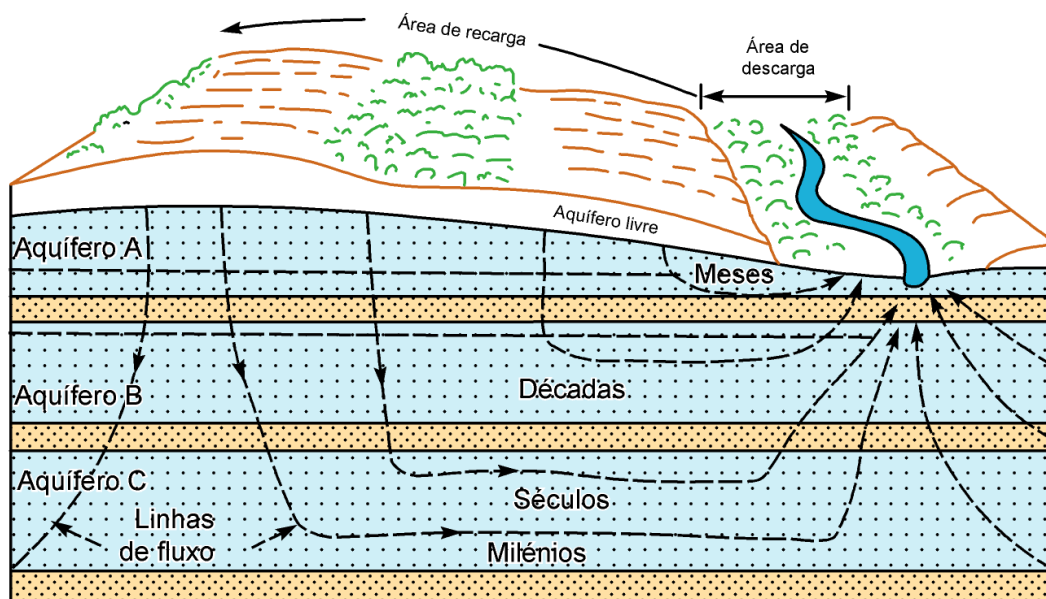


Figura 33 – Exemplo de tempos de residência das águas nos sistemas aquíferos (adaptado de Heath, 1982 e Cleary, 1989).

A estrutura geológica subjacente na zona saturada pode ser classificada em termos dos seus parâmetros hidrogeológicos (propriedades de fluxo e características de armazenamento), que serão alvo de uma descrição sucinta no ponto seguinte.

### 3.1.5. Parâmetros hidrogeológicos

Os aquíferos são sistemas físicos cujo funcionamento é regulado pela recarga e pela extracção. Apresentam características petrofísicas, hidrodinâmicas e hidrogeológicas fundamentais que permitem compreender o seu modelo conceptual de funcionamento, no espaço e no tempo. Na síntese subsequente, apresentam-se os parâmetros hidrogeológicos mais usados no presente estudo (Custodio & Llamas, 2001; Fetter, 2001; Carvalho & Amador, 2002; González de Vallejo et al., 2002).

### 3.1.5.1. Porosidade

A porosidade dum rocha corresponde à fracção de um determinado volume de material que é ocupado por espaços vazios, ou interstícios. A porosidade é indicada pelo símbolo  $n$ , e normalmente é expressa pela relação entre o volume de vazios,  $V_v$ , em relação ao volume total,  $V_t$ , da rocha, em que  $n = V_v/V_t$ .

Nas rochas fracturadas, a porosidade secundária ( $nf$ ), relacionada com as fracturas da própria rocha, pode ser estimada pela técnica da amostragem linear (descrita no ponto 2.1.2), usando a relação  $nf = Fa$ , onde  $F$  corresponde ao número de discontinuidades que intersectam o perfil de amostragem linear num determinado maciço rochoso, e  $a$  corresponde à abertura das fracturas (Hiscock, 2005).

Em geral, as formações rochosas não consolidadas, tais como areias, siltes e argilas, compostas por sedimentos angulosos ou rolados, têm uma porosidade superior às formações sedimentares bem consolidadas (Figura 34). As rochas cristalinas apresentam, em geral, porosidades muito baixas, pois os únicos poros existentes correspondem aos reduzidos espaços intercristalinos (Hiscock, 2005).

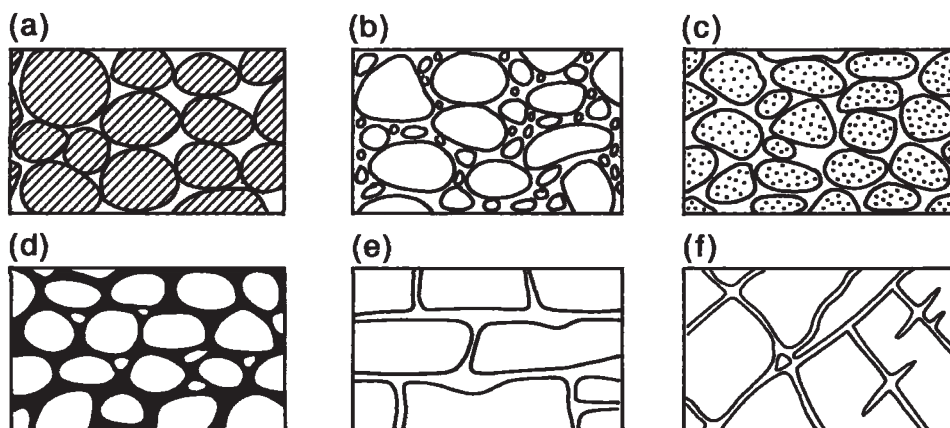


Figura 34 - Porosidade vs. textura da rocha (Adaptado de Meinzer, 1923, in Hiscock, 2005).

(a) depósito sedimentar bem calibrado, com alta porosidade; (b) depósito sedimentar mal calibrado, com baixa porosidade; (c) depósito sedimentar bem calibrado constituído por clastos porosos, conferindo ao depósito uma porosidade muito elevada; (d) depósito sedimentar bem calibrado, com reduzida porosidade, devido à cimentação dos interstícios; (e) rocha solúvel, tornada porosa pela dissolução; (f) rocha cristalina, tornada porosa pela fracturação.

Numa formação detrítica a sua porosidade total depende da forma, distribuição e arranjo interno dos seus grãos. Estas formações podem ter os grãos com maior ou menor grau de compactação, resultante da origem da sua formação, do ambiente sedimentar e da sua carga litostática. O modo de empacotamento das partículas que compõem uma rocha determina o tipo de poro e a porosidade total; assim, poderá variar desde o cúbico, que deixa mais espaços inter-granulares, até ao rômboide que tem maior compactação. Se o meio for constituído por partículas do mesmo tamanho, isto é, se o meio for homogéneo, a porosidade é elevada embora o tamanho dos grãos não interfira. Se o meio for constituído

---

por partículas de tamanho variado (se for heterogéneo), os grãos mais finos ocuparão os espaços entre os maiores, fazendo diminuir, deste modo, o valor da porosidade total e o mesmo acontecerá se a forma dos grãos for variável e angulosa (figura 34).

Assim, a porosidade depende da forma e do arranjo interno dos grãos constituintes, da calibração, compactação, cimentação, fracturação e dissolução da rocha (figura 34). Os valores de porosidade variam (quadro 7) desde praticamente zero em rochas não fracturadas, 0,1 (10%) em rochas cristalinas alteradas até 0,4 – 0,7 (40-70%) em formações sedimentares não consolidadas (Hiscock, 2005).

Quadro 7 - Valores de porosidade ( $n$ ) para diversos tipos de rocha (adaptado de Freeze & Cherry, 1979; Hiscock, 2005).

Tipo de rocha	Porosidade, $n$
Depósitos fluviais (aluviões)	0,05-0,35
Arenito	0,05-0,35
Xisto (muito pouco fracturado)	0-0,10
Xisto (fracturado)	0,05-0,50
Calcário coralífero	0,30-0,50
Calcário carsificado	0,05-0,50
Mármore (fracturado)	0,001-0,02
Rochas cristalinas (não fracturadas e fracturadas)	0-0,10

No entanto, é necessário aqui distinguir a porosidade primária, característica da matriz rochosa, e que se desenvolve aquando da sua formação, e a porosidade secundária (cf., figura 34). A porosidade secundária resulta da alteração física e química ao longo dos planos de deposição das diferentes camadas ou contactos para as formações sedimentares consolidadas, ou ao longo da fracturação regional/local e alteração superficial nas rochas cristalinas. As formações nas quais coexistem os dois tipos de porosidade, podem ser designadas por formações com dupla porosidade.

No entanto, nem toda a água contida nos poros de uma rocha pode ser extraída da formação aquífera, uma vez que uma parte da água se mantém em torno dos grãos da matriz rochosa. Num aquífero, a quantidade de água retida contra a força gravítica, é designada por *retenção específica* ( $n_r$ ).

O volume de água libertado da formação aquífera por unidade de superfície e por unidade de declínio (ou seja, o volume de vazios ocupáveis pela água que circula por acção da gravidade) corresponde à porosidade efectiva (ou *porosidade eficaz, porosidade útil, ou cedência específica*), designada por  $n_e$  (Custodio & Llamas, 2001). Ao somatório da retenção específica e da porosidade efectiva corresponde a porosidade total.

Contudo, o fluxo de água através dos materiais geológicos, quer se trate de rochas com porosidade primária e/ou secundária, apenas decorre se existir uma interconexão dos

---

espaços vazios (poros, fracturas, etc.). Um caso paradigmático é o da argila, a qual apresenta valores elevados de porosidade, mas na qual o fluxo de água se processa com extrema dificuldade (Hiscock, 2005).

A porosidade efectiva, no entanto, é um conceito rígido, uma vez que se refere apenas ao volume de água passível de ser extraído das formações geológicas (Custodio & Llamas, 2001). Este conceito está intimamente relacionado com o de *coeficiente de armazenamento*, conceito explanado seguidamente.

### **3.1.5.2. Coeficiente de armazenamento**

O coeficiente de armazenamento ( $S$ ) corresponde à capacidade do aquífero para libertar água e define-se como o volume de água que um prisma de base unitária e da altura do aquífero é capaz de libertar quando o nível piezométrico desce uma unidade. É um parâmetro físico que se refere ao volume de água cedido por uma unidade de volume de aquífero e, tal como a porosidade, é adimensional (Custodio & Llamas, 2001).

Consoante a sua situação na natureza e o estado dos seus níveis piezométricos, as formações geológicas permeáveis libertam água de forma diferente, sendo possível conhecer a diferença existente entre formações ou aquíferos com funcionamento confinado ou livre.

Nos aquíferos confinados o seu nível piezométrico situa-se acima do topo do aquífero. Na parte superior deste, a pressão é mais elevada que a atmosférica, daqui resultando que, se uma sondagem liga a superfície com o aquífero, o nível da água suba até ao ponto de equilíbrio, onde ficará situado o nível piezométrico. Um abaixamento do nível piezométrico do aquífero, se atingir a parte superior do mesmo, traz como consequência uma variação de pressões no meio físico, que se traduz numa libertação elástica da água. Pode assim concluir-se que nos aquíferos confinados, a água liberta-se devido ao efeito conjunto da expansão da água, ao baixar a pressão a que está submetida, e à descompressão vertical da estrutura granular, ao baixar a pressão interna a que está submetido o aquífero (Custodio & Llamas, 2001). Ao descer o nível piezométrico um metro num prisma de base unitária, libertar-se-ia uma quantidade de água equivalente ao coeficiente de armazenamento por libertação elástica. Por seu turno, nos aquíferos livres, com a descida do nível freático ocorrem alguns fenómenos de libertação elástica, mas a água existente nos poros é libertada, quase exclusivamente, por drenagem gravítica. O valor da quantidade de água libertada é, praticamente, coincidente com o da porosidade efectiva (Custodio & Llamas, 2001).

### 3.1.5.3. Permeabilidade

A permeabilidade corresponde à propriedade de um meio permitir a passagem de água ou outro fluido, em maior ou menor vazão por unidade de área. Esta propriedade depende das características do meio (porosidade, tamanho, distribuição, forma e arranjo das partículas) e das propriedades do fluido (viscosidade e peso específico).

A permeabilidade efectiva ou condutividade hidráulica, ligada às características texturais do meio físico e do fluido que transmite, é representada pelo coeficiente de permeabilidade  $K$  (Custodio & Llamas, 2001). Por outro lado, a permeabilidade intrínseca,  $k$ , depende unicamente das características internas do meio permeável. Assim, o caudal que é capaz de atravessar uma secção unitária de um aquífero com o fluxo normal é a permeabilidade efectiva, e depende tanto das características do meio físico (do aquífero) como das características do fluido que o atravessa (neste caso, água). A permeabilidade intrínseca e a permeabilidade efectiva relacionam-se pelos parâmetros capazes de definir as características do fluido. Pode definir-se, em sentido lato, permeabilidade como sendo a resistência que uma rocha oferece à passagem da água (Custodio & Llamas, 2001). Assim, umas deixam-se atravessar e cedem a água que possuem com muita facilidade, enquanto que outras o fazem com muita dificuldade. Das primeiras, rochas muito permeáveis, temos como exemplo as areias, ao passo que nas segundas, o melhor exemplo são as argilas.

A permeabilidade é determinada através da Lei de Darcy (Equação 1), a qual estabelece que o caudal capaz de atravessar um meio permeável é proporcional à secção transversal ( $A$ ), proporcional à diferença de cargas hidráulicas ( $h_1$  e  $h_2$ ) entre os piezómetros 1 e 2 e inversamente proporcional à distância entre os piezómetros ( $L$ ) (Figura 35).

$$Q = K.A.[(h_1-h_2)/L] = K.A.i$$

Equação 1 – Lei de Darcy

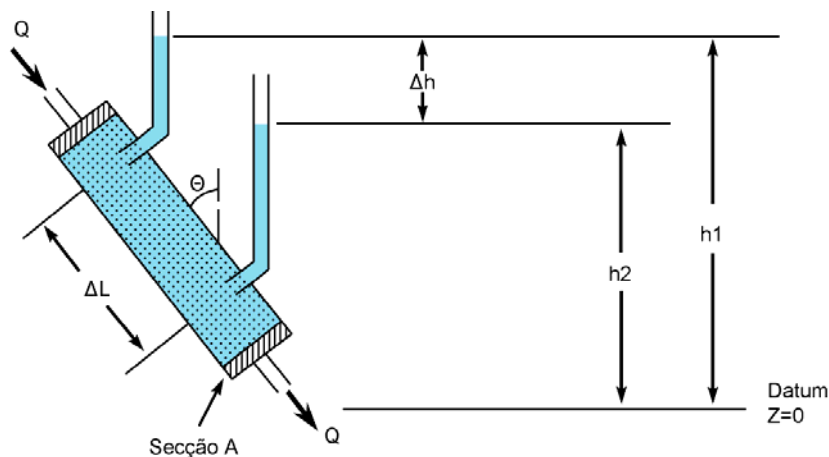


Figura 35 - Representação esquemática da Lei de Darcy (adaptado de Freeze & Cherry, 1979).

---

Mais recentemente, tornou-se habitual a generalização da lei de Darcy, que pode ser expressa pela Equação 2, em que o sinal negativo indica que o fluxo ocorre no sentido do decréscimo da carga hidráulica. A constante de proporcionalidade corresponde à condutividade hidráulica (K), multiplicada pela carga hidráulica ( $\Delta h$ ) medida entre os dois piezómetros, e dividida pela distância atravessada (L).

$$V = - K \cdot \Delta h / L$$

Equação 2 – Generalização da Lei de Darcy

Desta forma, a condutividade hidráulica, K, pode definir-se como o volume de água que atravessa uma formação geológica, por unidade de tempo, sob um gradiente hidráulico unitário, através de uma secção unitária perpendicular ao sentido de fluxo. Esta tem as dimensões L/T, sendo a unidade m/d (metros/dia) uma das mais usadas em hidrogeologia.

#### **3.1.5.4. Transmissividade**

A transmissividade ( $T$ ) é o parâmetro definido para avaliar a capacidade de conduzir água dos aquíferos, tendo em conta a textura, a estrutura ou a forma geométrica do aquífero e as características do fluido. Pode ser definido como a quantidade de água que flui através da secção vertical do aquífero quando se diminui a carga hidráulica de uma unidade e expressa-se geralmente em  $m^2$ /dia, sendo calculada através do produto da condutividade hidráulica ( $K$ ) pela espessura do aquífero ( $b$ ), (Equação 3).

$$T = K \cdot b$$

Equação 3 – Definição de Transmissividade ( $T$ )

Mesmo que os aquíferos sejam muito permeáveis, com excelentes características texturais, se tiverem uma baixa espessura podem não ser capazes de transmitir eficazmente a água, apresentando, naturalmente, valores baixos de transmissividade.

#### **3.1.6. Algumas propriedades físico-químicas da água**

A síntese que se segue, versa sobre as principais propriedades da água, tendo-se seguido de perto os trabalhos de Domenico & Schwartz, 1998; Custodio & Llamas, 2001; Fetter, 2001; Mendes & Oliveira, 2004.



---

### **3.1.6.1. Cheiro**

A água, no estado puro, é um composto inodoro, embora na natureza, raramente seja encontrada neste estado. Normalmente, a água surge associada a outras substâncias, em solução e em suspensão, que afectam o seu cheiro. Estas substâncias podem ser de origem biológica, mineral ou resultantes da actividade humana.

As águas superficiais podem ter cheiro devido a compostos orgânicos dissolvidos ou em suspensão, principalmente nas épocas quentes por ser mais intensa a actividade biológica. A presença de cheiro na água pode ser um indicador de que ocorre um processo de degradação da qualidade da água, em resultado de uma acção bacteriana ou da presença de substâncias químicas.

Nas águas subterrâneas podem sentir-se cheiros bem característicos, que denunciam, por exemplo, a presença de sulfureto de hidrogénio.

### **3.1.6.2. Sabor**

O sabor corresponde à propriedade física da água relacionada com a capacidade de produzir a sensação de gosto. Tal como o odor, no seu estado puro a água não apresenta qualquer sabor. No entanto, devido ao teor e ao tipo de sais dissolvidos na água e da existência de substâncias em solução ou suspensão, esta poderá apresentar “sabores” característicos. Na natureza a água apresenta sabores de origem biológica ou geológica, contudo pode sofrer também a influência dos produtos químicos e da poluição. Como exemplo, podemos apontar o sabor da água da rede pública quando sofre a influência do tratamento com cloro, podendo ser, por vezes, muito intenso. As águas com mais de 300 mg/L de cloretos têm um gosto “salgado”, as que têm mais de 400 ou 450 mg/L de sulfatos têm um sabor “salgado e amargo”, as que contêm muito dióxido de carbono livre têm gosto “picante”.

### **3.1.6.3. Cor**

A propriedade cor corresponde à capacidade de absorver certas radiações do espectro visível e é uma propriedade devida a substâncias que a água contém em solução ou suspensão, orgânicas (ácidos húmicos) ou inorgânicas (ferro, manganês, cobre). A cor aparente da água corresponde às substâncias dissolvidas, bem como às substâncias em suspensão (sedimentos, partículas, algas), enquanto que, por outro lado, a cor real deve-se apenas às substâncias dissolvidas. A água subterrânea é, geralmente, incolor.

---

A cor real é a única a considerar na água para consumo humano, pois esta contém substâncias solúveis mas não deve ter substâncias sólidas em suspensão. Dos materiais que podem dar coloração à água destacam-se os metais, tais como: o ferro (que imprime uma cor avermelhada), o magnésio (que lhe confere uma cor escura) e o cobre (que lhe provoca uma coloração azulada). De entre a matéria orgânica dos solos há que considerar as substâncias húmicas que lhe conferem uma coloração acastanhada. Embora a coloração da água produza um efeito negativo sobre o consumidor, não é a cor nem a ausência dela que garante a sua boa qualidade.

#### **3.1.6.4. Turvação**

A turvação (ou turbidez) pode ser entendida como a dificuldade da água para transmitir a luz. A concentração de turbidez aumenta a aparente cor da água mas não a verdadeira. A turvação da água deve-se à existência de matéria em suspensão, tal como: lama, lodo, argila, matéria orgânica e inorgânica, plâncton, outros organismos microscópicos; e também as bactérias de ferro e contaminação microbiana. A má qualidade de uma água, decorrente ou não da presença de bactérias, de parasitas e de vírus, pode ser indicada pela turvação, que nesse caso apresenta um aspecto nebuloso.

#### **3.1.6.5. Temperatura**

Ao contrário das águas superficiais, a temperatura das águas subterrâneas mantém-se bastante estável ao longo do ano e corresponde à temperatura atmosférica do lugar, acrescida do quociente da profundidade dado pelo gradiente geotérmico, situando-se em valores que rondam os 12° a 15°C (com algumas excepções, no caso das águas minerais). A temperatura mede-se com um termómetro, em graus, e deve, *in situ*, ter-se o cuidado de verificar se a amostra representa a temperatura da água do aquífero e não de tubagens ou depósitos. A temperatura influencia a sua viscosidade, a capacidade de absorção de gases e as velocidades de sedimentação e filtração. Um dos efeitos mais importantes que a temperatura pode ter sobre a qualidade da água diz respeito às consequências que provoca a nível da solubilidade dos sais e dos gases, da dissociação de substâncias dissolvidas, aumentando a condutividade eléctrica, bem como ao nível da determinação de alguns parâmetros (tais como o pH).

---

#### **3.1.6.6. Dureza**

A dureza da água é a propriedade relacionada com a concentração de iões de determinados minerais alcalino-terrosos dissolvidos. A dureza da água é predominantemente causada pela presença de compostos de cálcio e de magnésio, de modo que os principais iões a ser levados em consideração na análise são o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e o magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), embora eventualmente também o zinco, o estrôncio, o ferro ou o alumínio possam ser tidos em conta na aferição da dureza.

A natureza geológica dos terrenos determina a dureza da água. Assim, nas regiões de natureza calcária ou dolomítica ocorre água *dura*, enquanto que em zonas onde predominam rochas graníticas a água é mais branda. Devido ao contacto prolongado com formações geológicas, as águas subterrâneas são, normalmente, mais duras do que as águas superficiais. A dureza da água é expressa, geralmente, em mg/L de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

#### **3.1.6.7. pH**

O pH representa a medida da acidez ou da alcalinidade da água, traduzido pelo logaritmo decimal do inverso da concentração do ião de hidrogénio numa solução.

A água tem o poder de dissolver e reagir com substâncias orgânicas e inorgânicas, pois é quimicamente muito activa, podendo as substâncias dissolvidas alterar o equilíbrio de dissociação, alterando o pH. A uma temperatura de 25°C, para um valor de pH igual a 7 a água é neutra; para um pH menor do que 7, a água é ácida e para valores de pH superiores a 7, a água é básica ou alcalina. A maioria das águas subterrâneas apresenta um pH entre 5,5 e 8,5, podendo, em casos especiais, variar entre 3 e 11.

A medição do valor do pH de uma água subterrânea deve ser feita, sempre que possível, no local de amostragem. Nas determinações em laboratório é possível encontrar valores ligeiramente alterados devido à libertação de gases, oxidações e/ou reduções e variações de temperatura que ocorrem durante a colheita, armazenamento e transporte das amostras.

#### **3.1.6.8. Condutividade eléctrica**

A condutividade eléctrica refere-se à facilidade da água para conduzir a corrente eléctrica e está directamente ligada ao teor de sais dissolvidos sob a forma de iões, o que permite a avaliação expedita do grau de mineralização de uma água, devido à relação entre o teor em

---

sais minerais dissolvidos, e a resistência que ela oferece à passagem da corrente eléctrica. A água no seu estado puro tem uma condutividade eléctrica muito baixa, mas que aumenta gradualmente consoante a quantidade de substâncias iónicas dissolvidas. Embora a variação da condutividade dependa essencialmente da quantidade de substâncias solubilizadas na água, é ainda influenciada pela mudança de temperatura, sendo necessário utilizar uma temperatura de referência (em geral 20°C ou 25°C) sempre que se pretenda fazer a sua medição.

Para se determinar a condutividade eléctrica são usados condutivímetros que expressam a medida em *micro-siemens* por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). A medição desta propriedade deve fazer-se no local de amostragem com um condutivímetro portátil, que geralmente faz a correcção automática da temperatura.

### **3.1.7. Propriedades hidrológicas das rochas cristalinas**

Tal como foi referido, certas propriedades dos diferentes materiais geológicos controlam a capacidade da água subterrânea se infiltrar, circular, ser armazenada e finalmente extraída do subsolo. Portanto, o conhecimento do enquadramento geológico de uma determinada área apresenta-se como fundamental nos estudos relacionados com as águas subterrâneas dessa mesma área. Como tal, a análise rigorosa da cartografia geológica permite, conjuntamente com os trabalhos de prospecção hidrogeológica de terreno, uma caracterização das propriedades dos materiais existentes numa dada área, e conseqüentemente a avaliação da capacidade de armazenamento, de circulação e de produtividade das formações aquíferas, bem como a identificação das áreas de recarga/descarga e dos problemas de qualidade da água (Babar, 2005).

Em maciços rochosos cristalinos, devido à natureza complexa dos aquíferos, o desenvolvimento de estudos de prospecção e pesquisa de águas subterrâneas é vital para a correcta caracterização/avaliação/gestão dos recursos hídricos subterrâneos. A ocorrência de água subterrânea nestas áreas está dependente de múltiplos factores, tais como a morfologia do terreno, os declives, a rede de drenagem, as formações geológicas (tipo de rocha, grau de alteração e grau de fracturação), a estrutura geológica, o uso do solo e as condições hidroclimáticas (Babar, 2005).

As rochas ígneas apresentam, em geral, uma porosidade muito baixa. As rochas ígneas intrusivas possuem uma menor porosidade e transmissividade, quando comparadas com as rochas ígneas extrusivas. As rochas intrusivas apresentam uma textura na qual os seus minerais constituintes muito compactos, e praticamente sem poros abertos. Assim, neste tipo de rochas desenvolve-se uma porosidade secundária, relacionada com as

---

descontinuidades (falhas, fracturas, diaclases e estruturas filonianas) (Fetter, 2001; Weight & Sonderegger, 2001), a qual pode representar a única forma de armazenamento e circulação de água neste tipo de formações.

Nas rochas ígneas, a possibilidade de interação água-rocha é relativamente restrita, uma vez que o armazenamento e circulação da água ocorre predominantemente em descontinuidades, com um tempo de residência relativamente curto, e uma superfície de contacto relativamente baixa. Como tal, a água subterrânea que ocorre nestas formações apresenta-se, em regra, levemente mineralizada, e com altos teores em sílica (Hem, 1989; Babar, 2005).

Do ponto de vista hidrogeológico, nas rochas ígneas, a frequência e extensão da fracturação, a sua interconectividade, bem como a alteração ao longo das descontinuidades são os principais factores que controlam a porosidade e a permeabilidade de um determinado maciço, constituindo assim o reservatório no qual se instalaram uma série de aquíferos descontínuos no Maciço Antigo do território português (Carvalho, 2006). Os aquíferos que ocorrem nestas unidades são condicionados pela história geológica da área, pelo estilo tectónico, pelas estruturas de carácter regional e pelo estado do maciço à escala local (Larsson, 1984; Lloyd, 1999; Carvalho, 2006; Singhal & Gupta, 2010).

A história geológica de uma determinada área é responsável pela evolução do estado de fracturação e de alteração dos maciços, pela dinâmica dos processos geomórficos e da geomorfologia das paisagens e pelo estilo tectónico dúctil e frágil (em termos de deformação e fracturação). Nos maciços cristalinos, a circulação da água faz-se ao longo de descontinuidades cujas propriedades, particularmente a abertura, o enchimento e a conectividade, são relevantes para a quantidade e qualidade disponíveis (Carvalho, 2006). Entre as estruturas do tipo descontinuidade podem enumerar-se, segundo Singhal & Gupta, 2010, as seguintes: estratificação, xistosidade, falhas, diaclases e ainda discordâncias e contactos entre rochas diferentes. No entanto, Carvalho, 2006 aponta ainda uma série de outras feições que podem condicionar as condições e grandeza do escoamento, a saber: paleoestruturas, estruturas filonianas (veios, filões e diques), zonas de cisalhamento, cavalgamentos, alternâncias de rochas de deformação frágil e o estado de deformabilidade do maciço rochoso.

A transmissividade e capacidade de armazenamento das rochas cristalinas está dependente da conectividade das descontinuidades do próprio maciço (Marsily, 1986). Estes parâmetros aumentam à medida que aumenta o comprimento das descontinuidades e diminui o seu espaçamento, pois a probabilidade de as descontinuidades se cruzarem aumenta substancialmente (Singhal & Gupta, 2010). Assim, revela-se fundamental em qualquer estudo hidrogeológico a caracterização pormenorizada do maciço rochoso, de acordo com

---

as metodologias enumeradas no ponto 2.1.2, com vista a quantificar parâmetros relativos às descontinuidades do maciço (i.e., atitude, espaçamento, persistência, densidade, abertura, rugosidade, enchimento e conectividade; cf. ISRM, 1978b, 1981; CFCFF, 1996; ISRM, 2007), que por sua vez serão importantes na quantificação dos mecanismos e grandeza da circulação de águas subterrâneas.

O fluxo hidráulico da água subterrânea através de um meio descontínuo materializado por um dado material rochoso são a pouco alterado, tendo em regra baixa porosidade primária, irá depender da densidade, da conectividade e da abertura das descontinuidades presentes (Gudmundsson et al., 2003; Fernandes, 2008). Além disso, constata-se que estruturas crustais de expressão cartográfica assinalável ou estreitas zonas de fracturação regional (Evans et al., 1997; Carvalho & Chaminé, 2004) poderão funcionar como estruturas condutoras e, assim, constituírem caminhos preferenciais para a circulação de contaminantes (Domenico & Schwartz, 1998), além de constituírem as estruturas geohidráulicas que contribuem para produtividades mais elevadas das estruturas captantes (Carvalho et al., 2007).

#### **3.1.7.1. Expressão geomorfológica e hidrológica na zona alterada**

A definição do perfil vertical de alteração e fracturação das rochas cristalinas apresenta-se como uma tarefa primordial ao nível dos estudos hidrogeológicos e hidrogeomorfológicos (Carvalho, 1979; Machado Lima et al., 1985; Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho, 2006; Carvalho et al., 2007). Este perfil de alteração está geralmente associado às condições geotectónicas e climáticas do local, e a sua espessura é um dos principais factores na manutenção das disponibilidades hídricas subterrâneas ao longo do ano (Lachassagne et al., 2001). Vários estudos revelam que a maior probabilidade de ocorrência e os maiores caudais de água subterrânea se localizam na base da zona mais alterada, a profundidades variáveis (Larsson, 1984; Wright & Burgess, 1992; Lloyd, 1999).

O perfil vertical de alteração em profundidade é, como se referiu, dependente de condicionalismos locais, pelo que é desejável a sua caracterização, de forma o mais rigorosa possível, com recurso a trabalhos de campo e laboratoriais, nomeadamente em relação a aspectos como o tamanho e forma dos grãos, a sua composição mineralógica, bem como a caracterização da rede de fracturas e diaclases, sobretudo as sub-verticais (Brum Ferreira, 1979; Soares, 2008). Na síntese final, podem agrupar-se os diferentes estados de alteração em três grandes grupos, a saber (e.g., Lloyd, 1999; Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho, 2006):

- i) uma zona superior, em regra, alterada a muito alterada ou mesmo decomposta. Nestes horizontes muito alterados a decompostos a permeabilidade é do tipo intersticial (circulação por poros), podendo coexistir com a circulação fissural; nesta unidade existe um subsistema livre, instalado nos alteritos, com transmissividade baixa e coeficiente de armazenamento apreciável;
- ii) uma zona intermédia com a tipologia característica de maciço rochoso pouco alterado a são, intersectado por descontinuidades abertas (do tipo falha, fractura, diaclase, filão, ou contacto) com permeabilidade fissural;
- iii) uma zona inferior geralmente sã e compacta, com descontinuidades fechadas na qual a permeabilidade é praticamente nula.

Nas duas zonas inferiores encontra-se geralmente um subsistema semi-confinado, instalado a maior profundidade, com transmissividade alta e pequeno coeficiente de armazenamento (Figura 36). A superfície livre do subsistema superficial é próxima do nível freático do aquífero profundo, podendo ser mais alta ou mais baixa consoante a altitude relativa das zonas de recarga (Carvalho, 2006).

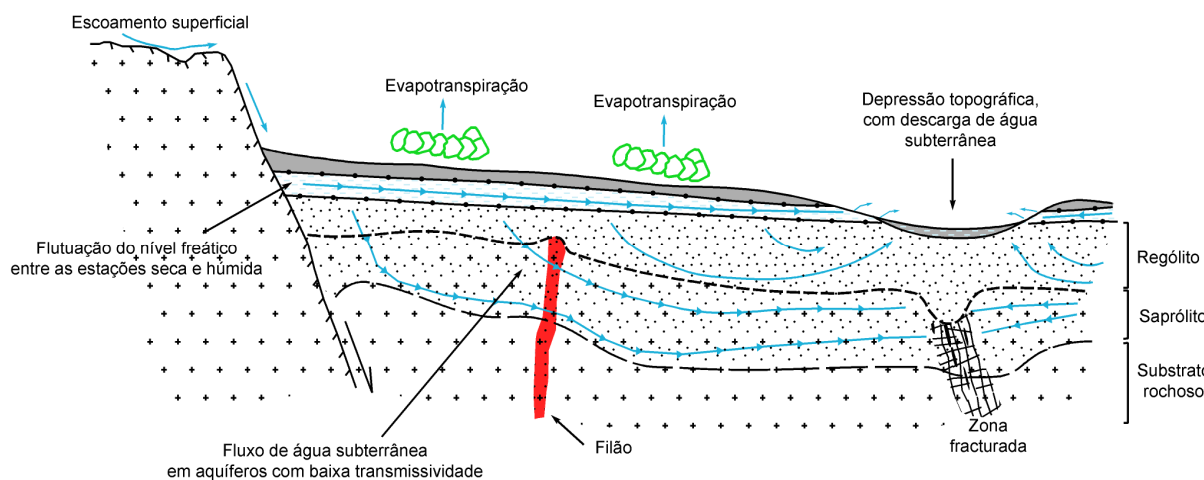


Figura 36 - Modelo de circulação da água subterrânea no substrato rochoso cristalino e no manto de alteração (segundo Chilton & Foster, 1993, in Singhal & Gupta, 2010).

A instalação de captações de água no subsistema inferior pode provocar um cone de influência importante, e contribuir para um importante rebaixamento dos níveis freáticos, induzindo uma drenância de água do subsistema superior para o inferior. O conjunto corresponderá assim a um sistema semi-confinado, e vários trabalhos apontam casos de sucesso de captações de água até pelo menos 250-300 metros de profundidade no Noroeste de Portugal, em maciços cristalinos (*cf.*, Higuera-Gil et al., 2001; Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho, 2006; Carvalho et al., 2007).

---

A influência dos movimentos tectónicos, as formas estruturais do relevo daí resultantes, bem como as feições lineares da crosta terrestre (nomeadamente, falhas, diaclases, faixas de cisalhamento, lineamentos tectónicos) são de grande importância para os geomorfólogos e geólogos. Estas descontinuidades geo-estruturais ou estratigráficas contribuem para um aumento da permeabilidade das formações aquíferas, potenciando naturalmente a circulação subterrânea das águas (Babar, 2005). Assim, a geomorfologia estrutural (e por extensão a geomorfologia tectónica, numa escala megascópica e global; Burbank & Anderson, 2001) encarrega-se do estudo das formas e feições das estruturas (em geral lineares), tais como estruturas monoclinais, dobras, falhas, diaclases e lineamentos tectónicos, bem como a evolução morfotectónica da paisagem (Scheidegger, 2004).

Seguidamente, discutem-se os aspectos relacionados com as formas estruturais – monoclinais, dobramentos, descontinuidades (falhas, diaclases, fracturas,...) e lineamentos – nomeadamente aqueles mais relacionados, ou com maiores implicações nas características geomorfológicas e hidrológicas de uma determinada área (Babar, 2005; Singhal & Gupta, 2010).

### **3.1.7.2. Expressão geomorfológica e hidrológica das estruturas monoclinais**

Uma estrutura monoclinal corresponde a uma sequência de rochas sedimentares (ou metassedimentares) estratificadas e pouco inclinadas, sendo que todos os estratos têm a mesma inclinação. Estas estruturas correspondem normalmente a flancos de megadobramentos muito extensos ou estão associadas a movimentações crustais associadas a falhas de expressão regional. Estas estruturas podem estar associadas a rochas resistentes ou a rochas mais brandas, que muitas das vezes surgem alternadas, ressaltando processos de erosão diferencial, que por sua vez podem originar relevos residuais (Ribeiro, 1943; Klein, 1973; Rebelo, 1984; Rochette Cordeiro, 1992; Babar, 2005; Teixeira et al., 2006).

Esta erosão diferencial dos estratos ligeiramente inclinados produz um padrão de rede de drenagem em treliça (figura 37), e algumas formas de relevo típicas, tais como escarpas e *cuestas*. Assim, os afluentes juntam-se ao curso de água principal em ângulo quase recto, podendo desenvolver-se cursos de água, quer na vertente escarpada, quer na vertente inclinada (Ollier & Clayton, 1981). A diferença na extensão desses cursos de água será condicionada pelas rochas que compõem esse mesmo substrato, bem como a sua inclinação. Os cursos de água no flanco menos inclinado apresentam, em geral, maior extensão, bem como uma menor densidade, e tendem a aumentar à medida que diminui a inclinação das camadas.



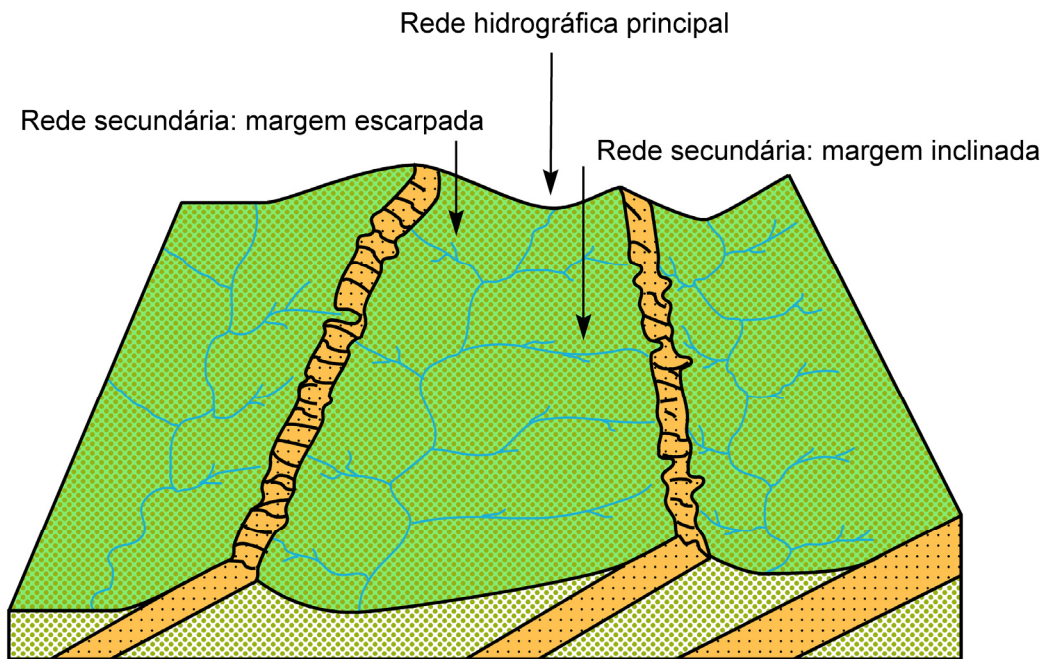


Figura 37 – Tipo de rede de drenagem em treliça que se desenvolve nas estruturas monoclinais (adaptado de Ollier & Clayton, 1981).

Torna-se assim evidente o controlo estrutural que os estratos inclinados impõem na rede de drenagem, e na sua assimetria (figura 37). Os cursos de água instalados no lado da margem escarpada tendem a ser de menor extensão e maior gradiente, enquanto os que se instalam na margem menos inclinada apresentam um menor gradiente, mais cursos de água tributários, bacias bastante maiores, e caudais mais estáveis e sustentados (Bloom, 1978).

Os exemplos mais impressionantes deste tipo de morfologia (vales simétricos em U ou em V), podem ser encontrados em sequências alternadas do tipo “quartzito-xisto”. Quando estes vales se apresentam colmatados por uma cobertura aluvionar, a extensão, espessura da camada saturada e limites do aquífero instalado nas rochas aluvionares podem ser definidos com alguma segurança. Nestas formações, com furos de pequena profundidade (20 a 50 metros), podem ser obtidos caudais na ordem dos 100 m<sup>3</sup>/h (Babar, 2005), junto a rochas quartzíticas com inclinações na ordem dos 30° – 50°.

Em geral, os contactos entre camadas mais permeáveis com camadas impermeáveis (ou por vezes, menos permeáveis) poderão dar origem a nascentes ao longo desses mesmos contactos. A figura 38 ilustra, de forma esquemática e simplificada, a relação entre camadas inclinadas com diferentes permeabilidades e as nascentes, que geralmente surgem no contacto entre as diferentes camadas.

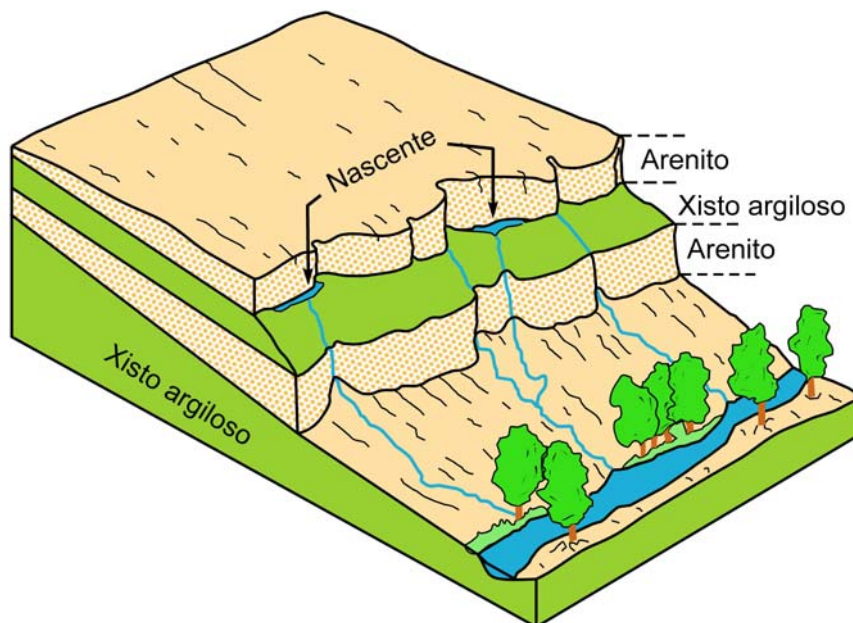


Figura 38 – Representação esquemática de nascentes condicionadas por contactos geológicos (Adaptado de Fetter, 2001).

### 3.1.7.3. *Expressão geomorfológica e hidrológica dos dobramentos*

As dobras correspondem a um arqueamento de rochas estratificadas (mais frequentemente, nas sedimentares e metassedimentares) ou rochas que se apresentem bandadas (por exemplo, gnaisses), por acção de um campo de tensões regional. Para que se formem dobras (e conseqüentemente dobramentos a escalas variadas), é necessário que o material submetido aos efeitos das forças compressivas apresente condições de deformação plástica, na altura da actuação da compressão orogénica.

Uma dobra é uma estrutura geológica que se caracteriza por ter um eixo, um plano axial e dois flancos. As dobras podem ser compostas dos seguintes elementos: a) sinclinais, que correspondem às partes côncavas das dobras; b) anticlinais, que representam os sectores convexos; c) flancos, que correspondem às laterais da dobra, e podem também corresponder à transição entre os anticlinais e os sinclinais; d) eixo da dobra, que se refere à linha ao redor da qual se dá o dobramento; e) plano axial, correspondente à superfície que divide a dobra em duas partes similares indicando o seu grau de simetria. A natureza da dobra pode ser determinada a partir da observação de afloramentos, e das suas idades relativas. Assim, dois afloramentos que inclinam em direcção um ao outro indicam a presença de um sinclinal. Por outro lado, afloramentos que inclinam em direcções opostas indicam a presença de um anticlinal. As dobras, que podem atingir grandes extensões, por vezes, à escala continental, são designadas por mega-dobrimentos ou geoanticlinais.

As estruturas dobradas controlam fortemente a evolução do relevo, e contribuem para a formação de padrões de drenagem típicos destas formações. Uma das formas mais comuns corresponde à inversão do relevo (Figura 39), com a formação de vales anticlinais e cristas sinclinais (Christofolletti, 1982; Babar, 2005).

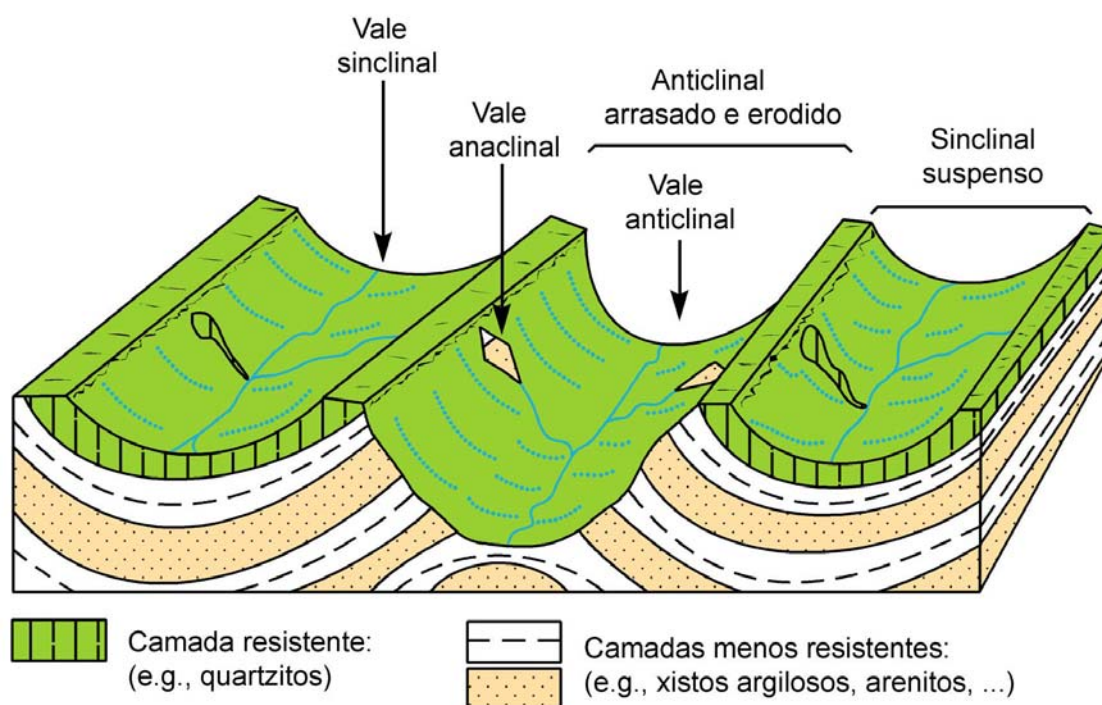


Figura 39 – Processo de inversão do relevo e rede hidrográfica associada (Adaptado e modificado de Christofolletti, 1982; Babar, 2002b).

Em Portugal, o caso típico de inversão de relevo pode ser encontrado na área de Valongo. O relevo local de Valongo é formado por uma megaestrutura anticlinal, com uma superfície axial do dobramento inclinada  $60^{\circ}$  -  $70^{\circ}$ NE (Delgado, 1908; Romano & Diggens, 1973-74; Teixeira, 1981; Couto et al., 1997). O megadobramento, formado no Paleozóico inferior, devido à maior rigidez das camadas quartzíticas, originou a fracturação do conjunto metassedimentar ao longo do seu eixo, que facilitou os processos de erosão no eixo do anticlinal, contribuindo para o processo de inversão do relevo aqui verificado.

O tipo de rede hidrográfica que se desenvolve neste tipo de domínios apresenta grandes semelhanças com as descritas no ponto anterior. Assim, a rede hidrográfica principal desenvolve-se a longo dos eixos das dobras, enquanto que a rede hidrográfica secundária se aproxima das características anteriormente para as margens inclinadas, no caso das estruturas sinclinais, e das características da margem escarpada, no caso de esta estar instalada nos vales anticlinais.

---

A influência destas estruturas nas águas subterrâneas foi descrita por White, 1999, que sugere que os fluxos subterrâneos tendem também a estar orientados com os eixos axiais dos dobramentos regionais. A natureza e extensão vertical e horizontal dos aquíferos são assim controlados pela litologia, estratigrafia e estrutura das formações dobradas.

#### **3.1.7.4. Expressão geomorfológica e hidrológica das falhas**

Uma falha corresponde a uma superfície de ruptura na rocha com movimento relativo de ambos os blocos, face a um campo de tensões regional. As rupturas crustais estão ligados a processos geodinâmicos extremos, tais como, sismicidade, vulcanismo. Há vários conceitos a ter em conta quando se observa uma falha: o tecto e o muro da falha, o rejeito (ou rejecto), e o tipo de movimento, isto é, se é uma falha com movimentação direita ou esquerda e se é normal ou inversa (ou gravítica/cavalgante). A falha divide dois blocos, designados normalmente por bloco levantado e bloco abatido. A superfície que separa os dois blocos tem o nome de plano de falha. Com frequência, os blocos ao deslizarem um pelo outro deixam marcas dessa movimentação no plano de falha, designadas por estrias de falha (Burbank & Anderson, 2001; Scheidegger, 2004).

O estudo geomorfológico das falhas incorpora três aspectos, a saber (Burbank & Anderson, 2001; Babar, 2002b): a) tipo de deslocamento dos blocos rochosos e tipo de falha resultante; b) a expressão tectónica das falhas; c) expressão geomórfica das falhas. Praticamente todas as falhas apresentam uma componente de deslocamento horizontal, que pode ser inferida, muitas das vezes, pela geometria da própria falha, e pelas estruturas secundárias associadas. Estas estruturas secundárias ocorrem, com maior frequência, nas proximidades das zonas de cisalhamento, reflectindo o campo de tensões locais e regionais, que podem diferir ao longo da zona de falha.

A espessura das caixas de falha associadas às zonas de cisalhamento, bem como a sua permeabilidade, condicionarão, de forma decisiva, a condutividade hidráulica ao longo da zona de falha. Assim, é de grande importância conhecer a sua espessura e variação espacial (Fetter, 2001; Babar, 2005). Alguns trabalhos (e.g., Chaminé et al., 1999; White, 1999; Carvalho et al., 2005a) indicam as falhas activas como canais de alta permeabilidade e grande fluxo de água subterrânea. Quanto às falhas inactivas, e mais antigas, a deposição de minerais secundários poderão colmatar as caixas de falha e as possíveis aberturas das estruturas geológicas, reduzindo assim a possibilidade de circulação de água e interconectividade geo-hidráulica.

Segundo Carvalho (2006) as falhas são as estruturas mais citadas na bibliografia sobre a circulação de água e prospecção hidrogeológica em rochas cristalinas (Figura 40). No

entanto, nem sempre acreditar na ideia generalizada de que o maior potencial hidrogeológico corresponde ao núcleo da zona de cisalhamento é a abordagem mais correcta. Por vezes, os processos de alteração levam à formação de uma caixa de falha argilosa (com minerais argilosos expansivos como a esmectite, caulinite, ...) que tornará a falha não um veículo de circulação de água subterrânea, mas antes uma barreira hidrogeológica impermeável. Esta ideia é também referida numa série de outros trabalhos (e.g., Wittwer et al., 1993 Ofoegbu et al., 1999; Ofoegbu et al., 2001).

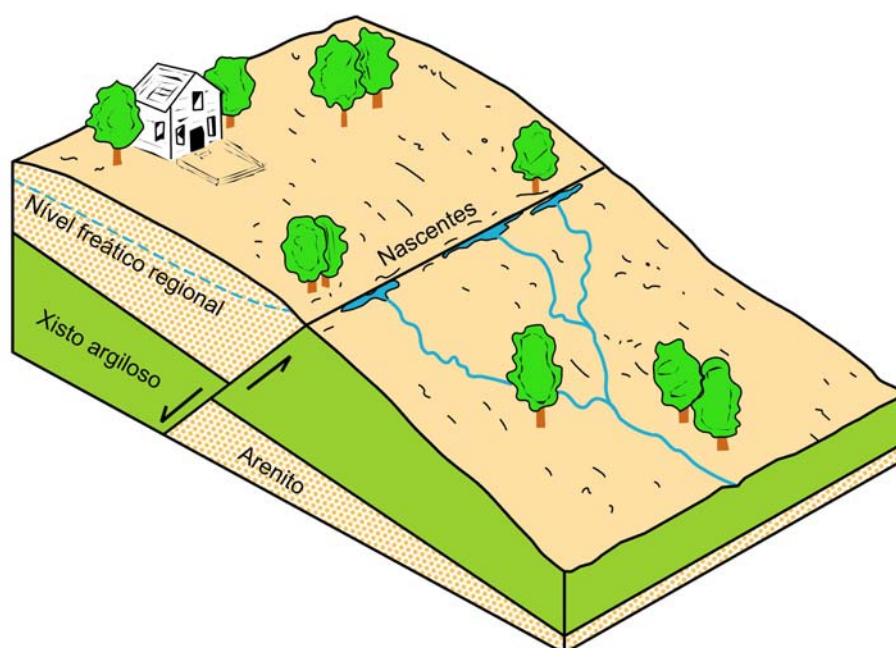


Figura 40 – Nascentes associadas a falhas, em maciços cristalinos metassedimentares (Adaptado de Fetter, 2001).

Outro aspecto importante nas falhas corresponde à análise cartográfica do padrão de fracturação, especialmente nos locais onde se detectam nós tectónicos regionais, que podem favorecer a circulação de água subterrânea (e.g., Portugal Ferreira et al., 1984; Carvalho, 1995 ; Dias et al., 2000; Espinha Marques et al., 2001a; 2001b; Carvalho, 2006; Carvalho & Chaminé, 2007; Teixeira et al., 2010a). Será importante também, após o estudo cartográfico do padrão de fracturação, e sempre que possível, proceder a um estudo da compartimentação do maciço, recorrendo à técnica da amostragem linear (descrita no ponto 2.1.2), bem como avaliar a alteração/resistência desse mesmo maciço, eventualmente com o recurso a ensaios esclerométricos *in situ* (descritos no ponto 2.1.3).

As figuras 40 e 41 ilustram, respectivamente, de forma esquemática e simplificada, a relação das falhas com a ocorrência de nascentes em maciços cristalinos metassedimentares e graníticos, respectivamente. Em áreas de rochas sedimentares, alinhamentos de nascentes ao longo de uma vertente corresponderão à intersecção do nível freático com a superfície do

---

terreno, estando muitas das vezes relacionadas com barreiras impermeáveis, criadas pela movimentação de falhas (figura 40).

Em áreas de rocha granítica, é comum o alinhamento de nascentes ao longo das vertentes, condicionados pela concentração da circulação subterrânea em zonas fracturadas, precisamente em locais em que nível freático intersecta a superfície do terreno (figura 41).

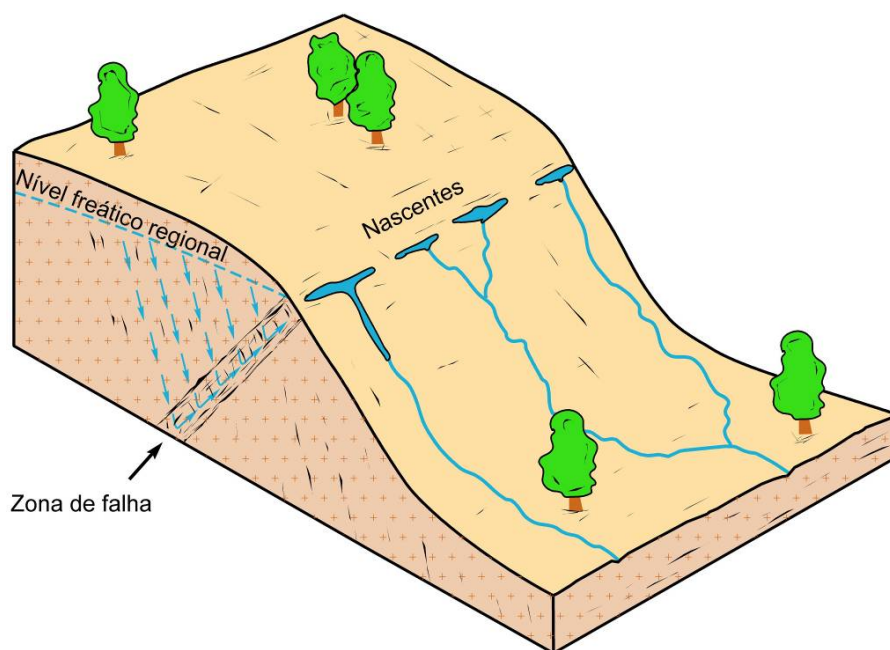


Figura 41 – Nascentes associadas a zonas fracturadas, em maciços cristalinos graníticos (Adaptado de Fetter, 2001).

### **3.1.7.5. Expressão geomorfológica e hidrológica da fracturação sensu lato**

A fracturação, em geral, está distribuída de forma heterogénea nos maciços rochosos. Os maciços rochosos cristalinos apresentam-se, normalmente, intersectados por uma série de fracturas ou diaclases, resultantes de diversos processos geodinâmicos. Enquanto algumas áreas não aparentam ter um padrão de fracturação regular, noutras áreas esse padrão é bem visível, sendo possível a sua caracterização a partir das técnicas descritas no capítulo 2.

A distribuição e circulação de água subterrânea nas rochas cristalinas fracturadas é bastante variável, estando dependente das características e interconectividade das fracturas. A água contida neste sistema de fracturas pode estar contida em aquíferos livres ou semi-confinados a confinados, conforme as profundidades e condições do meio.

Do ponto de vista hidrogeológico, os principais aspectos que condicionam a permeabilidade e porosidade de um maciço rochoso correspondem à frequência, extensão, abertura e

interconectividade das fracturas. Em geral, existe maior percolação de água em maciços onde a fracturação é pouco afastada, ainda que mais curta, do que num maciço com fracturas extensas, mas muito afastadas e pouco interligadas (Fetter, 2001; Babar, 2005). A figura 42 ilustra, a possível ocorrência de nascentes, relacionadas com a fracturação de um dado maciço cristalino.

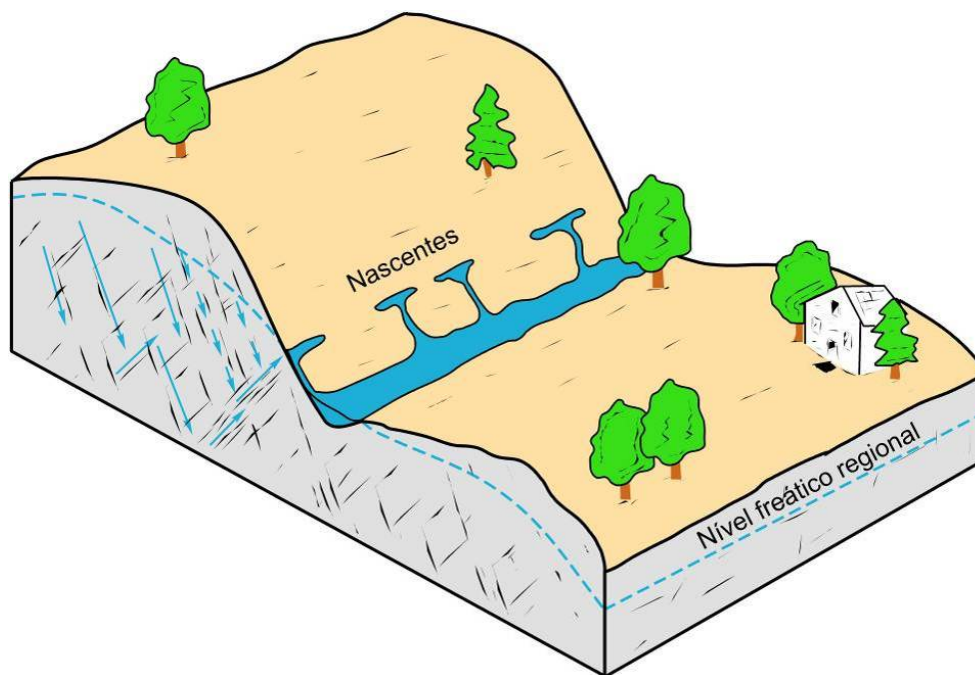


Figura 42 - Nascentes associadas a fracturas e diaclasamento, em maciços cristalinos graníticos (Adaptado de Fetter, 2001).

### **3.1.7.6. Expressão geomorfológica e hidrológica dos lineamentos**

Um lineamento pode ser definido como uma feição crustal linear profunda, de grande extensão, descontínua, que se expressa na topografia de forma marcada, e que reflecte as condições geo-estruturais que lhe estão subjacentes, sendo por isso um excelente indicador da estrutura geológica e tectónica (O'Leary et al., 1976; Caran et al., 1982; Babar, 2005; Sander, 2007).

O estudo dos lineamentos tem sido aplicado em diversas áreas das Ciências da Terra, e até mesmo interligado com outras disciplinas científicas em áreas tão vastas como a localização de potenciais infraestruturas nucleares (Seay, 1979; Conde, 1983), estudos geotérmicos (Woodruff et al., 1982; Marques et al., 2003; Carvalho, 2006), e na prospecção de águas subterrâneas (Lattman & Parizek, 1964; Carvalho, 1996; Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho et al., 2007; Teixeira et al., 2010a).

Os lineamentos podem ter múltiplas géneses, e por vezes apresentam-se um pouco ambíguos, pois nem sempre é possível a desejada verificação no campo da sua existência e

da sua correcta localização. Os lineamentos podem corresponder: a) segmentos de vale rectilíneos; b) depressões alinhadas na superfície do terreno; c) mudanças topográficas abruptas; d) variações tonais do solo, indicando teores de humidade diferentes; e) alinhamentos na vegetação; e) mudanças no tipo e altura da vegetação. A maior parte destes fenómenos são resultado de controlo estrutural, por falhas, fracturas ou estruturas dobradas (Babar, 2005).

Numa perspectiva das águas subterrâneas, os lineamentos podem corresponder a áreas preferenciais de circulação de água subterrânea, tornando-se hidogeologicamente significativos (Sankar et al., 1996; Carvalho, 2006). Os lineamentos tornam-se assim elementos extremamente importantes em rochas em que a porosidade e a permeabilidade secundária é dominante. As intersecções dos lineamentos correspondem, em geral, a áreas potenciais de circulação de águas subterrâneas, especialmente quando estas intersecções estão associadas a depressões topográficas. A Figura 43 ilustra, de forma esquemática, a captação de água subterrânea através de um furo, num local de intersecção de lineamentos. É importante ressaltar que a produtividade dos furos realizados estará dependente da intersecção, em profundidade, de fracturas transmissivas (Carvalho, 2006).

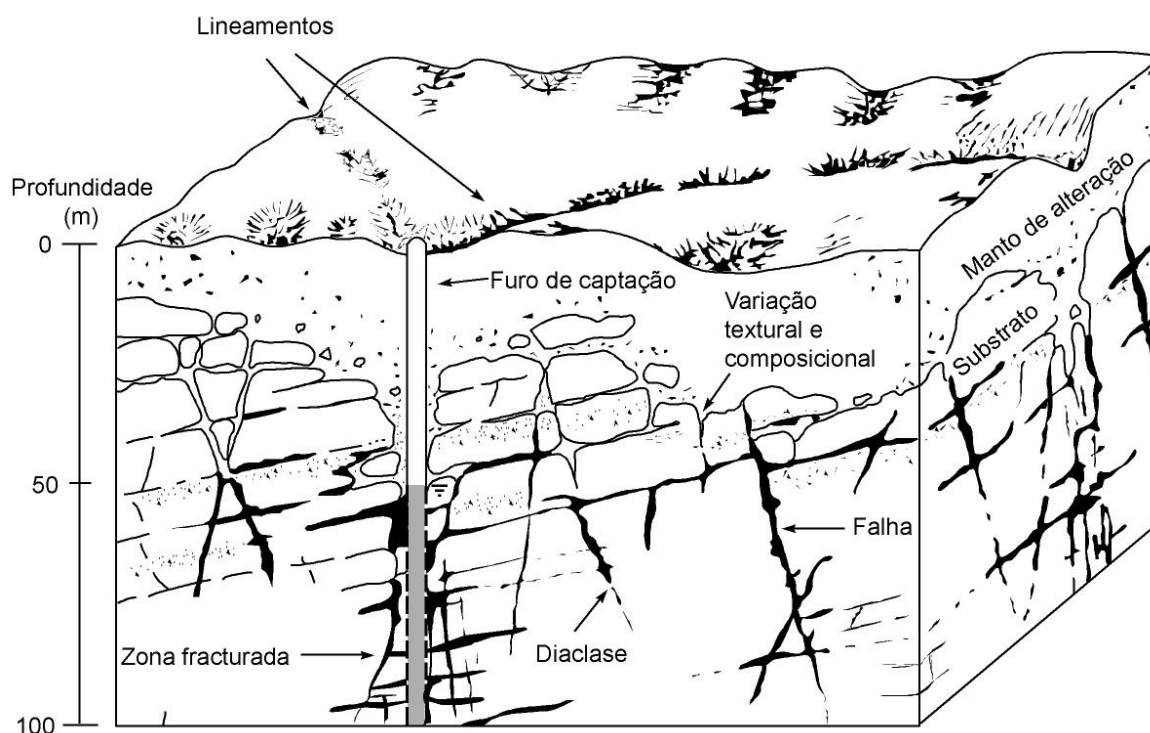


Figura 43 – Ocorrência de água subterrânea, ligada a lineamentos tectónicos (adaptado de Fetter, 2001).



---

### 3.2. Hidrogeomorfologia: uma área científica interdisciplinar emergente

A hidrogeomorfologia é um domínio científico emergente, assente num conjunto de conceitos de outras áreas científicas relacionadas com as geociências e a geografia física, nomeadamente a geologia, a geomorfologia, a hidrologia, a hidrogeologia, a hidrogeografia, a topografia, a detecção remota, a geofísica aplicada, a geotecnia de solos e rochas, a climatologia e os riscos naturais (e.g., Okunishi, 1991, 1994; Bisson & Lehr, 2004; Sidle & Onda, 2004; Babar, 2005; Singhal & Gupta, 2010). Esta pode ser definida como uma ciência interdisciplinar que estuda a interação e a interligação dos processos hidrológicos relativamente às formas de relevo e as interações com os processos geomórficos com a água superficial e subterrânea numa dimensão espaço-temporal (Tricart, 1963; Scheidegger, 1973; Gregory, 1979; Sidle & Onda, 2004; Babar, 2005; Kudrna & Šindelářová, 2006). O conceito tem vindo a evoluir paulatinamente, há mais de cinquenta anos, e um dos pioneiros na sua aplicação e desenvolvimento, especialmente através da denominada *cartografia hidrogeomorfológica* e da *geomorfologia aplicada/aplicável às águas subterrâneas*, foi a Escola francesa de geomorfologia, através do então *Centro de Geografia Aplicada da Universidade de Estrasburgo*, liderada pelo professor Jean Tricart (Tricart, 1958, 1962; Tricart, 1963; Tricart et al., 1965; Cloots-Hirsch & Tricart, 1978).

Há outro campo científico interdisciplinar com raiz comum que se está também lentamente a impôr tomando a designação de *Hidromorfologia* (Vogel, 2011), mas posiciona-se entre a hidrologia e a engenharia tendo como objecto de estudo os sistemas hidrológicos e a ciência do solo. Esta abordagem contempla uma abordagem determinística aplicada para fins de engenharia com o enfoque para o efeito da água no modelado da paisagem, sua interacção superficial com os solos e, sobretudo, do impacto antrópico nos recursos hídricos e os desafios colocados à sua gestão racional (e.g., Rabenhorst et al., 1998; European Commission, 2000; Wilding & Lin, 2006; Orr et al., 2008; Šípek et al., 2009).

A água subterrânea dos sistemas aquíferos em rochas cristalinas, em certas áreas em Portugal, constitui uma importante fonte de água para diversos usos (domésticos, industriais e agrícolas), bem como para o abastecimento público. As águas subterrâneas desempenham um papel importante nas actividades económicas e na vida quotidiana das populações (Carvalho, 2006). O abastecimento público de água nas principais cidades está cada vez mais dependente da água superficial (Afonso et al., 2010b). No entanto, várias centenas de aldeias ainda dependem de águas subterrâneas. A agricultura, nomeadamente de pequena escala, e a indústria são altamente dependentes dos recursos hídricos subterrâneos. O desenvolvimento sustentável exige assim um melhor entendimento dos

---

recursos hidrogeológicos e a sua correcta gestão, em estreita relação com a esfera socioeconómica.

As águas subterrâneas e as águas superficiais são componentes interligadas de um único sistema hidrológico complexo. A recarga das águas subterrâneas corresponderá, de uma forma simplista, à passagem de água da zona não saturada para a zona saturada (Freeze & Cherry, 1979; Sophocleous, 2002). No entanto, na Natureza existem inúmeros factores, que controlam os fluxos, o armazenamento e a ocorrência das águas subterrâneas, tais como a topografia, a litologia, a estrutura, o grau de alteração, a extensão/comprimento das fracturas, a permeabilidade, o declive, o padrão de drenagem, o relevo, o uso do solo e o clima (Jaiswal et al., 2003; Surette et al., 2008; Yeh et al., 2009; Teixeira et al. 2010). Nos últimos anos, diversas técnicas ligadas à gestão da água e do território sofreram uma intensa evolução, e a detecção remota, a cartografia, os SIG ganharam uma grande importância nestes estudos (Jha et al., 2007). Assim, a abordagem multicritério, que engloba vários tipos de informação (por exemplo, litologia, estrutura, declividade, drenagem) viu-se muito potencializada pelo desenvolvimento de técnicas de geoprocessamento, assentes em *hardware* e *software* SIG cada vez mais versáteis (Ettazarini, 2007). Nesse contexto, uma das tarefas mais importantes corresponde à quantificação dos dados a serem processados em ambiente SIG (Nilsson et al., 2006). Os mapas hidrogeomorfológicos serão assim vitais, pois incluem uma série de informações de carácter geológico, geomorfológico e hidrológico, e sistematizam a informação genérica produzida, com uma finalidade específica, sobretudo, de modo a funcionarem como instrumentos de apoio para a gestão do território e na definição de opções a tomar em diversas áreas envolvidas no ordenamento do território (Tricart et al., 1965; Babar, 2005).

Na presente investigação pretendeu-se aprofundar as metodologias hidrogeomorfológicas com recurso à base cartografia SIG, especialmente a importância da componente da hidrologia subterrânea, em estudos de prospecção/pesquisa em ambientes geodinâmicos e hidrogeológicos complexos visando a fase de construção do modelo hidrogeológico conceptual sobretudo para evidenciar a problemática das áreas de recarga/descarga das formações aquíferas. Todavia, não foram descuradas as interacções com a componente hidrológica superficial e subsuperficial, bem como a influência da climatologia e da geomorfologia. Da análise exhaustiva da bibliografia sobre a temática hidrogeomorfológica verificou-se a existência de escassos trabalhos modernos que privilegiassem as interacções entre a geomorfologia e hidrologia subterrânea. Por isso, retomou-se o espírito pioneiro das preocupações das primeiras publicações sobre a importância da cartografia hidrogeomorfológica aplicada ao meio físico natural (e.g., Tricart, 1963; Tricart et al., 1965; Cloots-Hirsch & Tricart, 1978) e acoplou-se os modernos conhecimentos geomorfológicos e

---

hidrogeológicos das rochas duras fracturadas numa base cartográfica SIG (e.g., Scheidegger, 1973; Burbank & Anderson, 2001; Fetter, 2001; Scesi & Gattinoni, 2009; Singhal & Gupta, 2010). Logo, serão apresentadas, testadas e discutidas uma série de abordagens metodológicas, assentes em técnicas ligadas à detecção remota, cartografias hidro-estrutural e hidrogeomorfológica, combinadas com o trabalho de campo (reconhecimento e inventário hidrogeológico), que contribuem de forma decisiva para a construção e/ou melhoramento dos modelos hidrogeológicos conceptuais das áreas de estudo, localizadas em maciços cristalinos fracturados. Nesse sentido, foram produzidos uma série de mapas, com destaque para os mapas hidrogeomorfológicos, bem como outros mapas temáticos, onde se se definem, entre outros aspectos, as áreas com maior potencial de infiltração. Esta metodologia pretende, assim, contribuir para um maior conhecimento do funcionamento dos sistemas hidrominerais, podendo também ser uma importante ferramenta no apoio à decisão na área do planeamento e gestão das águas subterrâneas.

### **3.2.1. Trabalhos anteriores**

As primeiras referências à hidrogeomorfologia remontam aos anos 50 do Século XX, em estudos e investigações pioneiras de Tricart (1958; 1962; 1963), de Tricart et al. (1965) e de Cloots-Hirsch & Tricart (1978), no âmbito da geomorfologia aplicada às águas subterrâneas (e águas superficiais), mas sobretudo, tal como se referiu anteriormente, no desenvolvimento das bases da cartografia hidrogeomorfológica aplicada ao meio físico natural e aos problemas concretos da engenharia hidráulica e da hidrogeologia. Os exemplos de aplicação da equipa de J. Tricart extravasam as fronteiras gaulesas e reportam-se também aos continentes sul-Americano, Africano e Europeu. Infelizmente, os autores subsequentes que retomaram o termo (e até lhe deram outras conotações e âmbitos, que na nossa perspectiva, melhoraram alguns aspectos do enfoque temático da pertinência da hidrogeomorfologia) raramente enquadram de uma forma rigorosa o seu aparecimento e há, sem colocar em causa os positivos contributos subsequentes para a consolidação da Hidrogeomorfologia, um excessivo alheamento, por parte das escolas germânicas (Scheidegger, 1973), anglo-saxónicas (Gregory, 1979), nipónicas (Okunishi, 1991; Sidle & Onda, 2004) e indianas (Babar, 2005), acerca das verdadeiras origens da prática da hidrogeomorfologia que, pelo menos das nossas exaustivas investigações bibliográficas, apontam para os trabalhos do francês Jean Tricart e colaboradores.

Uma das primeiras referências formais ao termo hidrogeomorfologia surge num trabalho de síntese, em que esta designa, num sentido mais estrito, o estudo das formas de relevo, causadas por acção da água (Scheidegger, 1973). Segundo esta definição, praticamente

---

toda a geomorfologia poderia ser considerada hidrogeomorfologia, pois a água é, sem dúvida, um dos agentes mais importantes na génese e modelado das formas de relevo. Nesse trabalho, são apenas tratados os efeitos mais marcantes da água, em ambientes fluviais ou marinhos, nas formas de relevo, bem como a interacção mecânica da água superficial e sub-superficial nas referidas formas de relevo, e na estabilidade de algumas formações rochosas.

Por esta altura, Tricart (1973) apresenta o trabalho *“La géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel”*, onde refere a sua vontade de contribuir para a “solução de problemas reais”, sempre com espírito interdisciplinar, referindo aqui que a geomorfologia poderá ter um papel importante em estudos integrados do meio físico natural. No entanto, já no seu trabalho *“L'épiderme de la Terre, esquisse d'une géomorphologie appliquée”* (Tricart, 1962) era defendido o carácter interdisciplinar e aplicado da geomorfologia. Estes e outros trabalhos surgem na linha de investigação do CGA – *Centre de Géographie Appliquée*, da Universidade de Estrasburgo (do qual Jean Tricart foi seu fundador, em 1956), em que a colaboração dos geomorfólogos com outras áreas científicas, nomeadamente com os hidrogeólogos e engenheiros, era cada vez frequente e frutuosa (e.g., Tricart, 1958; 1962; 1963; Tricart et al., 1965). Este seu interesse pela temática das águas subterrâneas deve-se, em grande parte, por ter sido indigitado pelo Conselho da Europa para coordenar via CGA um estudo sobre os recursos hídricos aplicado ao planeamento e protecção das águas subterrâneas e superficiais na Europa, cujos princípios deveriam contribuir para o desenvolvimento de países em outros continentes (Cardoso, 2003).

Em 1976 é dado à estampa um livro que resume os trabalhos apresentados no *“Seventh Annual Geomorphology Symposium”*, realizado na Universidade Estadual de Nova Iorque, em Setembro de 1976, intitulado *“Geomorphology and Engineering”* (Coates, 1976). Nesta obra são indicadas uma série de aplicações da geomorfologia a diversas áreas da engenharia, e nomeadamente, no que interessa ao presente estudo, à área dos recursos hídricos. Assim, D. N. Coates refere que o uso e gestão dos recursos hídricos envolvem uma série de considerações geomorfológicas (quer no caso das águas subterrâneas quer das águas superficiais), bem como conhecimentos de engenharia e construção (e.g., barragens, canais de transvase ou furos de captação de água subterrânea), defendendo uma ligação estreita entre o conhecimento do terreno, ou seja a geomorfologia, e os conhecimentos na área da engenharia e construção.

Posteriormente, Schumm (1977) identificou as aplicações da importância da abordagem hidrogeomorfológica ao sistema fluvial como estando associadas com a

---

conservação do solo e ordenamento do território, com a engenharia civil, com a geomorfologia e com a geologia.

Dois anos mais tarde, Jean Tricart publica o trabalho “*Géomorphologie applicable*” (Tricart, 1978), onde exemplifica as múltiplas aplicações da geomorfologia. Nesse trabalho são apontadas aplicações da geomorfologia nas diversas áreas, defendendo a necessidade de uma análise sistemática e integradora daquela que considera a unidade geomorfológica fundamental: a bacia hidrográfica. No primeiro capítulo da sua obra o autor apela à vocação geodinâmica e interdisciplinar da geomorfologia, por contraste com a geomorfologia teórica e davisiana. Nos capítulos seguintes examina, dando exemplos específicos, das possíveis áreas de aplicação da geomorfologia, e desafia os geomorfólogos a reverem a sua problemática e os seus métodos. Assim, são abordados temas como a contribuição da geomorfologia no campo científico da geologia estrutural, da pedologia e da hidrologia, da hidrogeologia, das relações da paleo-geomorfologia com os estudos de solos e prospecção mineira, das ligações da geomorfologia à conservação do solo e dos recursos hídricos, bem como a área de intervenção da geomorfologia na área do planeamento e ordenamento do território ao nível da bacia hidrográfica. J. Tricart defende ainda que a geomorfologia aplicada se deve basear claramente numa observação do terreno, mas que essa observação não é suficiente, devendo ser complementada por valores quantitativos dos fenómenos representados, para que a interdisciplinaridade dos estudos se torne uma realidade.

Ainda nesse ano, J. Tricart publica um outro trabalho, em co-autoria com Anne-Rose Cloots-Hirsch (Cloots-Hirsch & Tricart, 1978), com a aplicação dos métodos até então desenvolvidos, na região francesa da Alsácia. Neste trabalho é referida a cartografia hidrogeomorfológica como uma importante ferramenta em vários estudos sobre o meio físico natural, referindo que devem ser representados nesta cartografia, sempre que possível, os vários tipos de circulação da água: a superficial, a hipodérmica e a subterrânea.

No ano seguinte, é apresentado por Gregory (1979) um trabalho de revisão sobre o âmbito do termo *hidrogeomorfologia* e das suas possíveis aplicações, bem como apresenta argumentos para rebater algumas das ideias defendidas por Scheidegger (1973). Assim, K.J. Gregory apresenta um balanço do estado do conhecimento hidrogeomorfológico, referindo que este se encontra numa encruzilhada, i.e., ou a hidrogeomorfologia estagna, ficando-se pelas descrições teóricas fundamentais, ou, pelo contrário, avança para o campo das aplicações, aproveitando já alguns dos estudos que se faziam na interface com a engenharia, nomeadamente na área da hidrologia. É esta segunda via que o autor aponta como o futuro da hidrogeomorfologia, ideia também defendida, há mais de vinte anos, como referido anteriormente, por Jean Tricart. Assim, K.J. Gregory prevê, para as décadas

seguintes, fortes avanços na área da hidrogeomorfologia, tendo como catalisadores, entre outros, o desejo de refinamento dos modelos e o estabelecimento de uma visão determinística quantitativa, bem como a vontade de aplicação da hidrogeomorfologia como uma abordagem construtivista para o entendimento dos sistemas hidrológicos e naturais. A figura 44 resume a sequência apresentada no trabalho de Gregory (1979), em que à esquerda do diagrama surge o sistema fluvial como alvo de estudos da década de 1960, em escalas que vão desde a partícula individual à escala da bacia, focando-se essencialmente na relação entre forma e processo. Na década seguinte, o tema dominante dos estudos corresponde às mudanças da rede de drenagem. Assim, são apontadas para a década de 1980 e seguintes, como sucessoras lógicas para complementar essas abordagens mais clássicas, novas abordagens mais aplicadas, bem como os seus possíveis impactos, a diversas escalas, desde a secção transversal do curso de água até gestão integrada da bacia hidrográfica.

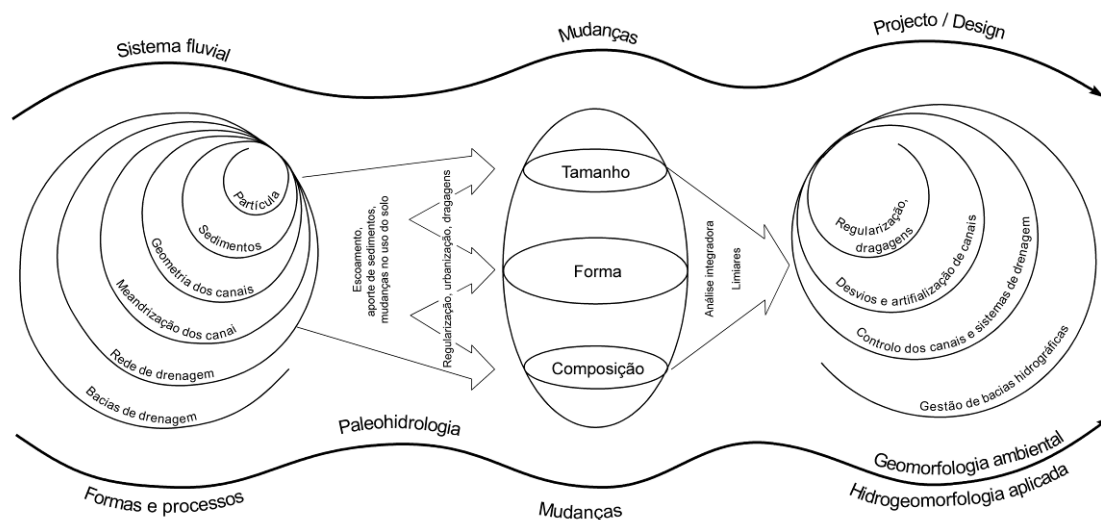


Figura 44 – Representação esquemática dos estudos em hidrogeomorfologia nos anos 60-70, do Século XX (segundo Gregory, 1979).

K.J. Gregory refere ainda que, para defender esta necessidade de estudos mais aplicados, que os estudos hidrogeomorfológicos se podem e devem interligar com os da engenharia. Nesse sentido, aponta o trabalho de Coates (1976) como referência, em que se defende a ideia que a geomorfologia de engenharia requer a aplicação de conhecimentos dos processos geomorfológicos a situações que envolvam a construção ou projecto de engenharia. Enquanto o engenheiro está apenas preocupado com o projecto e a localização das estruturas a construir, a abordagem da geomorfologia de engenharia implica o conhecimento das estruturas e suas funções, bem como dos seus impactos a nível local e regional nos sistemas geomorfológicos. Algumas dessas aplicações e implicações são sintetizadas no quadro 8.

Quadro 8 – Aplicações e implicações dos estudos hidrogeomorfológicos em bacias de drenagem (simplificado de Gregory, 1979).

		Aplicações	Possíveis implicações hidrogeomorfológicas	
			Implicações locais	Implicações regionais
Escala da bacia de drenagem	Sistemas de irrigação	Planeamento do sistema de irrigação, incluindo padrão, tamanho, forma e declives dos canais e cursos de água e sua relação com a rede de drenagem pré-existente	Circulação da água subterrânea e seus níveis, erosão e sedimentação	Mudanças no fluxo dos canais principais do sistema de drenagem
	Controlo da morfologia dos canais	Estabelecimento de medidas de controlo para a evolução da morfologia dos canais	Ajustes morfológicos na área não intervencionada imediatamente a jusante	Ajuste nos canais e sua morfologia a jusante
	Drenagem de terrenos	Projectos de instalação de redes de drenagem de terrenos	Aumento do escoamento superficial a jusante; mudanças no balanço hídrico local	Ajuste nos canais a jusante
	Drenagem de estradas / caminhos	Planeamento de sistemas de drenagem para estradas / caminhos	Alterações na morfologia dos terrenos envolventes à estrada; possível formação de vales e ravinas nas áreas laterais aos terrenos construídos	Ajuste nos canais a jusante do ponto de ligação do sistema de drenagem à rede de drenagem
	Drenagem de águas pluviais em áreas urbanas	Planeamento de sistemas de drenagem de águas pluviais em áreas urbanas	Modificação morfológica nos locais de descarga; aspectos estéticos do sistema e da sua construção	Alterações morfológicas a jusante, devido à modificação dos regimes de escoamento
Escala dos canais fluviais	Exploração de inertes	Planeamento do método e áreas de extração	Efeitos na disponibilidade de sedimentos transportados pelos rios	Efeitos a jusante: morfológicos e estéticos
	Desvios / Transvases fluviais	Planeamento dos canais de desvio / transvase	Ajuste morfológico dos canais pelo aumento ou diminuição dos caudais	Ajuste morfológico dos canais pelo aumento ou diminuição dos caudais
	Artificialização de canais	Planeamento das obras de artificialização dos canais: alargamento, aprofundamento, limpeza, construção de diques / represas	Ajuste nos canais e sua morfologia a jusante	Ajuste nos canais e sua morfologia a jusante
Escala local	Construção de barragens	Seleção dos locais e tipos de descarga	Retenção de sedimentos a jusante; alterações no regime hidrológico a jusante	Alterações no regime hidrológico a jusante; ajuste nos canais principais
	Construção de pontes	Planeamento dos tipos de construção	Confinamento nos canais devido aos apoios laterais das pontes; ajustes na erosão local	Ajuste nos canais e sua morfologia a jusante
	Dragagens para navegação	Planeamento da profundidade, frequência e método de remoção dos sedimentos	Mudanças locais no transporte de sedimentos	Mudanças quantidade e velocidade dos sedimentos transportados a jusante

Em 1982, Luna Leopold enfatiza a importância da rigorosa aquisição de dados de terreno nos estudos de interface entre a geomorfologia e a hidrologia (Leopold, 1982), dando exemplos concretos de como estes podem ajudar na resolução de problemas concretos e enfatizando que, erradamente na sua opinião, os temas de investigação preferenciais escolhidos eram os que menos trabalho de campo necessitavam para a sua análise à luz das teorias vigentes, o que estaria a conduzir a avanços lentos na investigação científica destas áreas. Já no início da década de 1990, é apresentado por Higgins & Coates, 1990 um outro trabalho de referência, onde é discutido amplamente o papel da água sub-superficial e subterrânea nos processos geomorfológicos e formas de relevo. Nos seus trabalhos, publicados em 1991 e 1994, K. Okunishi (Okunishi, 1991; 1994) apresenta a hidrogeomorfologia como uma ciência interdisciplinar, defendendo a ligação entre os diversos processos relacionados com a água, quer à superfície, quer subterraneamente. No mesmo volume especial de 1994 da revista *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, onde Okunishi apresentou a sua visão da hidrogeomorfologia, é apresentada também a perspectiva de T. Dune (Dunne, 1994). Estes dois autores apresentam visões próximas da que será defendida uns anos mais tarde por R. Sidle e Y. Onda.

Em 2004 é então apresentado um conjunto de trabalhos, sob coordenação de R. Sidle e Y. Onda, que resultam do simpósio dedicado à hidrogeomorfologia, no “*Fifth International*

---

*Conference on Geomorphology*”, realizado em Tóquio (Japão) em 2001, que resultaram num número especial da revista *“Hydrological Processes”* (Sidle & Onda, 2004). Neste trabalho, os autores definem a hidrogeomorfologia, como sendo “a interligação dos processos hidrológicos relativamente às formas de relevo e as interações dos processos geomórficos com a água (sub)superficial numa dimensão espaço-temporal”. Neste trabalho são ainda apontadas algumas das áreas mais focadas nos estudos hidrogeomorfológicos, tais como: processos de escoamento superficial influenciados pela litologia e geomorfologia, processos de erosão ligados a cursos de água, modelação dos factores que influenciam movimentos de vertente e das propriedades associadas dos solos. Os autores reconhecem ainda que esta lista não está, de todo, completa (apenas representando algumas das áreas mais trabalhadas, nomeadamente no Japão), defendendo que a hidrogeomorfologia se pode e deve aplicar a estudos relacionados com ocupação do solo e as suas implicações nos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, estudos integrados à escala da bacia hidrográfica e ordenamento do território, entre outros.

Do ponto de vista da água subterrânea, a integração de dados relativos à geologia, estrutura e hidrogeologia com os dados hidrogeomorfológicos pode ser muito útil para o sucesso das operações de prospecção e pesquisa de águas subterrâneas. Assim, Babar (2005) define a hidrogeomorfologia como sendo a ciência que relaciona, de forma integrada, aspectos geomorfológicos, geológicos e hidrogeológicos da água (superficial e subterrânea), bem como as suas respostas a eventos naturais ou de origem humana (tais como precipitação extrema ou regularização e artificialização de canais). A obra de Babar (2005) corresponde a um trabalho de grande importância, onde são explanados, com clareza, uma série de termos e conceitos das várias componentes da hidrogeomorfologia, desde as características físico-químicas da água às características dos aquíferos, dos fundamentos e métodos às aplicações da hidrogeomorfologia.

Os trabalhos mais recentes salientam a importância das relações entre as abordagens da geomorfologia e águas subterrâneas com outras áreas científicas emergentes, tais como hidroecologia (Loague et al., 2006; Hancock et al., 2009), modelação hidrológica (Samper et al., 2007; Ebel & Loague, 2008; Fujimoto et al., 2008), hidropedologia e hidromorfologia (Espinha Marques et al., 2007; Espinha Marques et al., 2008), geomorfologia de engenharia (Fookes et al., 2005; Fookes et al., 2007; Smith et al., 2011), hidrogeologia urbana (Afonso et al., 2009; Afonso et al., 2010a) e recursos hídricos subterrâneos (Carvalho, 1996; Marques et al., 2003; Carvalho et al., 2005a; Carvalho, 2006; Yeh et al., 2009; Teixeira et al., 2010a).

No quadro 9 e na figura 45 apresentam-se, de uma forma esquemática, a síntese dos principais contributos para a consolidação da hidrogeomorfologia como área científica



interdisciplinar e aplicada, com especial destaque para os trabalhos mais relacionados com a componente da água subterrânea e sub-superficial.

Quadro 9 – Síntese das designações e breve descrição da evolução do conceito de hidrogeomorfologia nos últimos 50 anos (cf. figura 45).

Designação	Breve descrição do conceito	Autores
Décadas 1950/60 <i>Geomorfologia e águas subterrâneas</i> <i>Geomorfologia aplicada/aplicável</i> <i>Cartografia hidrogeomorfológica</i>	Apresentação do conceito geomorfologia aplicada/aplicável; estudos sobre interação com as águas subterrâneas e obras hidráulicas de engenharia; desenvolvimento pioneiro das bases metodológicas da cartografia hidrogeomorfológica e sua integração com o meio físico natural	Tricart (1958, 1962, 1963, 1973, 1978); Cloots-Hirsh & Tricart (1978), Tricart et al. (1965)
Década 1970 <i>Hidrogeomorfologia</i>	Estudo das formas de relevo, causadas por acção da água; efeitos da água nas formas de relevo; interação mecânica da água superficial e sub-superficial nas formas de relevo e na estabilidade das formações rochosas	Scheiddeger (1973)
	Domínio científico abrangente que se dedica ao estudo da interação da água superficial e subterrânea que condiciona os processos geomórficos e geomorfológicos; o autor defende uma forte componente interdisciplinar e aplicada, especialmente com a hidrologia, hidrogeologia e estudos de engenharia	Gregory (1978)
Décadas 1990/2000 <i>Hidrogeomorfologia</i>	Privilegia a interligação dos processos hidrológicos relativamente às formas de relevo e as interações dos processos geomórficos com a água superficial e sub-superficial numa dimensão espaço-temporal	Okunishi (1991, 1994); Dunne (1994); Sidle & Onda (2004)
	Ciência interdisciplinar que relaciona, de uma forma integradora, os aspectos geomorfológicos, geológicos e hidrológicos da água superficial e subterrânea, bem como a resposta dos sistemas hidrológicos e hidrogeológicos a eventos naturais extremos ou de origem antrópica	Babar (2005)

**Hidrogeomorfologia: evolução de uma área científica emergente**

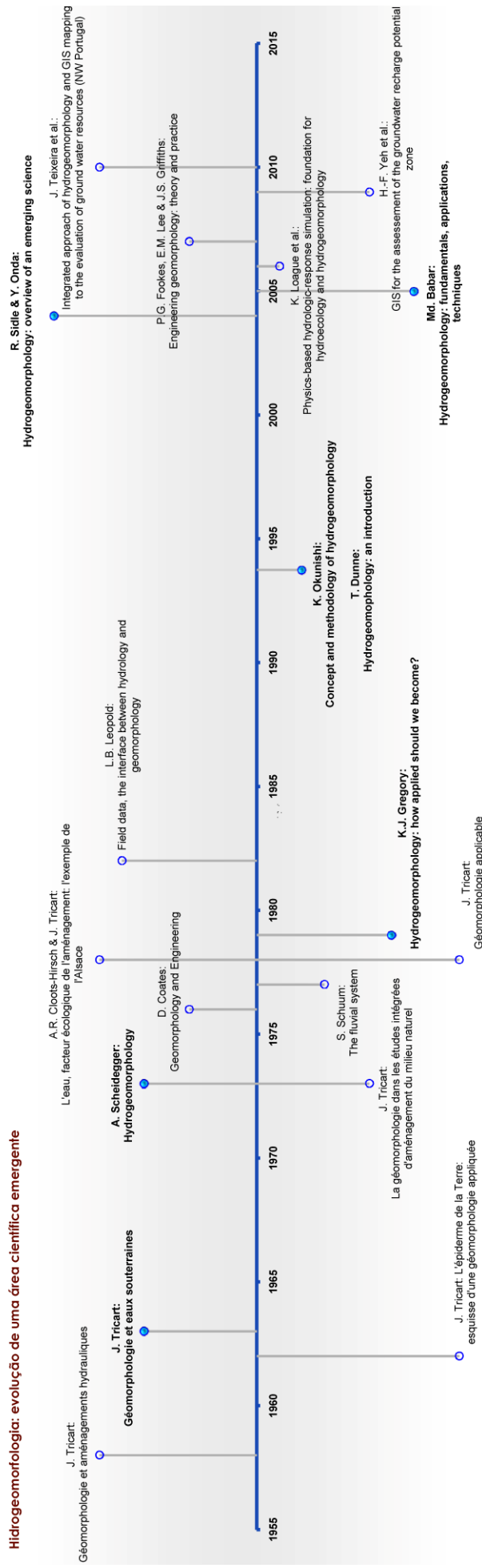


Figura 45 – Síntese da evolução histórica dos principais trabalhos numa área científica emergente: hidrogeomorfologia (cf. quadro 9).

---

### 3.3. Cartografia hidrogeomorfológica

As investigações na área dos recursos hídricos subterrâneos incluem, necessariamente, o estudo dos “*inputs*” no sistema, do movimento da água, dos locais de descarga, bem como das características geomorfológicas dessa mesma área (Babar, 2005). Muitas das vezes, a cartografia hidrogeomorfológica assume-se como uma ferramenta de extrema importância na determinação destas características (Tricart et al., 1965; Cloots-Hirsch & Tricart, 1978). Os dados necessários para a produção da cartografia geomorfológica, tal como se indicou no ponto 2.2, são, essencialmente, a geologia (litologia, estrutura, grau de alteração), uso do solo, rede de drenagem, declives e precipitação, bem como outros dados derivados da informação primária (e.g. modelo digital de terreno).

A identificação de áreas de descarga, por exemplo, pode ser baseada na observação do tipo e densidade de vegetação uma vez que, nas áreas de descarga o teor de humidade do solo é elevado, sendo naturalmente aproveitado pela vegetação. O cálculo dos índices de vegetação (e.g., Reddy et al., 1989) pode ser efectuado a partir de fotografia aérea ou de imagem de satélite de alta resolução. É claro sempre que possível, com reconhecimentos de campo prévios e de acompanhamento à medida que as investigações progridem.

#### 3.3.1. Ferramentas essenciais da cartografia geomorfológica

Uma vez que a ocorrência de águas subterrâneas se reveste de um carácter complexo e muito heterogéneo nos diferentes tipos de rocha, torna-se efectivamente necessário proceder a estudos, a escalas locais e de grande pormenor, que permitam um conhecimento detalhado do funcionamento dos sistemas hidrogeológicos (Fetter, 2001; Scesi & Gattinoni, 2009; Singhal & Gupta, 2010) Isto tendo em vista um conjunto de recomendações relacionadas com a exploração do próprio georrecurso água subterrânea (tais como a localização das possíveis captações, o seu tipo, bem como dos caudais de exploração sustentáveis) e com a sua protecção (medidas ligadas ao ordenamento do território, tais como a definição das áreas de protecção de captações ou de áreas de recarga). Assim, podem definir-se três áreas prioritárias para este tipo de estudos, nomeadamente a elaboração de cartografia hidrogeomorfológica, a saber (Babar, 2005):

- a) Áreas críticas: correspondem a áreas onde, devido à sobre-exploração, os recursos naturais, em especial a água, estão já sob forte ameaça. São locais onde devem ser delineadas, a uma escala de pormenor, as áreas mais prioritárias para a aplicação de medidas de remediação e protecção.

---

b) Áreas problemáticas: correspondem a áreas com problemas como alagamento de solos por excesso de irrigação ou com problemas relacionados com a qualidade da água (e.g., salinidade, poluição), que devem ser alvo de estudos de pormenor, e em que devem ser apontadas as possíveis medidas de remediação.

c) Áreas potenciais: correspondem a áreas onde os recursos hídricos subterrâneos são abundantes, ou onde, pela sua localização e/ou qualidade, se revelam importantes económica e socialmente. Nestas áreas devem ser apontadas medidas que regulem a exploração sustentada desses mesmos recursos.

Assim, para preparar um mapa hidrogeomorfológico, será necessário recolher uma série de informações, tais como imagens de satélite, fotografia aérea, cartografia de base (topográfica e geológica), uso do solo, tipo de solo e inventário hidrogeológico, bem como deverá ser feita uma exaustiva recolha bibliográfica de dados hidro-históricos. No entanto, alguns dos dados mais importantes na elaboração da cartografia hidrogeomorfológica só são passíveis de recolha através de trabalhos de campo, nos quais devem ser observados, validados e complementados os seguintes aspectos: a) morfologia do terreno; b) características de drenagem; c) tipo de solo; d) geologia de superfície, incluindo o tipo de formação, contactos geológicos, grau de alteração e grau de fracturação; e) geologia sub-superficial e profunda (incluindo a estratigrafia, nos casos em que tal seja possível); f) informações hidrogeológicas, tais como o tipo de aquífero, profundidade do nível freático, condições de recarga e hidrodinâmica, hidrogeoquímica, bem como dados recolhidos no inventário hidrogeológico de campo.

Durante os trabalhos de campo, tal como referido no capítulo 2.1, ser usados, entre outros, os seguintes equipamentos indispensáveis para apoiar os levantamentos cartográficos de terreno: livro de campo, mapas topográficos e geológicos a escala adequada, bússola com clinómetro (bússola de geólogo), martelo de geólogo, martelo de Schmidt, fichas de levantamento geológico-geomecânico de campo, fichas de inventário hidrogeológico, máquina fotográfica, GPS de alta-precisão, medidor multi-paramétrico portátil de hidrogeologia (com sondas de pH, condutividade eléctrica e temperatura) e sonda de nível.

A cartografia hidrogeomorfológica resultante deverá ser preparada a uma escala conveniente, e adaptada à área de estudo. A cartografia hidrogeomorfológica deverá ainda contemplar uma legenda o mais completa possível, que deve descrever as unidades geomorfológicas, formas e estruturas, bem como as características hidrogeológicas (quantitativas e qualitativas) de cada caso de estudo (Babar, 2005). Dever-se-á respeitar sempre que possível a codificação internacional e local em termos de produção da cartografia geomorfológica e hidrogeológica (e.g., UNESCO/WMO, 1977; Brum Ferreira,

---

1981b; UNESCO/AIHS/AIH, 1983; Struckmeier & Margat, 1995; Joly, 1997; Peña Monné, 1997; Assaad et al., 2004; Martín-Serrano, 2005).

### **3.3.2. Mapas temáticos em hidrogeomorfologia**

Os recentes avanços na detecção remota e na área dos SIG deram a estas técnicas uma importância renovada na área da gestão dos geo-recursos (Chowdary et al., 2003; 2009).

Assim, numa abordagem multi-critério podem ser gerados uma série de mapas temáticos, que permitem uma visão integrada de todos os aspectos relacionados com a geologia, a hidrogeologia e a hidrogeomorfologia da área de estudo. Os diferentes factores — litologia, estrutura, grau de alteração, densidade de lineamentos tectónicos, uso do solo, densidade de drenagem, declive e precipitação — podem ser sobrepostos e cruzados em ambiente SIG, de acordo com diferentes factores de ponderação e diversos pesos específicos dentro de cada factor. Estes pesos específicos podem ser obtidos, essencialmente, através da avaliação específica da área de trabalho de campo e de estudos internacionais de referência (e.g., Krishnamurthy et al., 1996; Jha et al., 2007; Yeh et al., 2009; Sener et al., 2005; Sreedevi et al., 2005; Shaban et al., 2006; Sander, 2007; Teixeira et al., 2010a).

Os diferentes factores podem agrupados em três grandes categorias: descrição geológica de maciços rochosos, caracterização geográfica e caracterização hidrogeomorfológica. Os mapas de base construídos, com o seu factor de ponderação e peso específico de cada um dos factores, são usados no cálculo das áreas com maior potencial de infiltração, aplicando as funções de análise espacial do *software* ArcGis 9.3. Nesta tarefa usa-se geralmente o modelo de dados “*raster*”, que corresponde a uma matriz regular de células (que facilita as operações de sobreposição e de cálculo em ambiente SIG), e o resultado final corresponderá a um ficheiro, em que cada uma das células apresentará o valor correspondente ao somatório dos diferentes factores de ponderação, podendo variar ente 0 e 100. Os valores máximos são assim atingidos nas áreas onde se combinem os valores máximos de cada um dos factores de ponderação. Este esboço cartográfico intermédio é posteriormente sobreposto ao esboço geomorfológico e com os dados do inventário hidrogeológico de campo, resultando no mapa final, o mapa hidrogeomorfológico, no qual é possível avaliar, de forma integradora, as áreas mais favoráveis à infiltração ou à descarga de águas subterrâneas. Nesta avaliação multi-critério, são construídos uma série de mapas de base. Seguidamente descrevem-se os principais factores que afectam o potencial de infiltração, sintetizando-se no quadro 10 os que apresentam maior importância.

Quadro 10 – Síntese dos principais factores que afectam o potencial de infiltração.

	Feições espaciais	Explicação	Principais referências
Litologia, estrutura e grau de alteração	Formações porosas: aluviões, terraços fluviais	Feições favoráveis à circulação e armazenamento de água subterrânea	ISRM (1978, 1981); GSE (1995); Jha, et al., 2007; Yeh et al., 2008
	Granito são a pouco alterado	Baixo potencial de infiltração e circulação	
	Granito medianamente alterado	Médio potencial de infiltração e circulação	
	Granito muito alterado a decomposto	Alto potencial de infiltração e circulação	
	Filões e massas	Alto potencial de infiltração e circulação	
Densidade de lineamentos tectónicos	Alta densidade de lineamentos	Alto potencial de infiltração e circulação	CFCFF (1996); Sener, et al., 2005; Sreedevi, et al., 2005; Jha, et al., 2007; Sander, 2007; Yeh, et al., 2008
	Média densidade de lineamentos	Médio potencial de infiltração e circulação	
	Baixa densidade de lineamentos	Baixo potencial de infiltração e circulação	
	Muito baixa densidade de lineamentos	Muito baixo potencial de infiltração e circulação	
Uso do solo	Estradas	Áreas impermeabilizadas	Sanford, 2002; Shaban, et al., ; Jha, et al., 2007; Yeh, et al., 2008
	Áreas urbanizadas	Áreas impermeabilizadas	
	Afloramentos rochosos	Baixo potencial de infiltração	
	Floresta	Alto potencial de infiltração	
	Áreas agrícolas	Médio potencial de infiltração	
	Áreas de vegetação rasteira / arbustiva	Médio potencial de infiltração	
Densidade de drenagem	Muito baixa densidade de drenagem	Alto potencial de infiltração	Sener, et al., 2005; Sreedevi, et al., 2005; Jha, et al., 2007; Sander, 2007
	Baixa densidade de drenagem	Médio potencial de infiltração	
	Média densidade de drenagem	Baixo potencial de infiltração	
	Alta densidade de drenagem	Muito baixo potencial de infiltração	
Declives	Declives muito baixos	Alto potencial de infiltração	Sener, et al., 2005; Sreedevi, et al., 2005; Jha, et al., 2007; Sander, 2007; Yeh, et al., 2008
	Declives baixos	Médio potencial de infiltração	
	Declives médios	Baixo potencial de infiltração	
	Declives altos	Muito baixo potencial de infiltração	
Precipitação	Valores de precipitação altos	Alto potencial de infiltração	Sener, et al., 2005; Jha, et al., 2007; Sander, 2007; Yeh, et al., 2008
	Valores de precipitação médios	Médio potencial de infiltração	
	Valores de precipitação baixos	Baixo potencial de infiltração	

### Litologia, estrutura e grau de alteração

A litologia, estrutura e grau de alteração dos maciços rochosos tem uma grande influência nos processos de infiltração. A rocha são, com as suas anisotropias naturais associadas à rede de fracturação, introduz um elevado grau de complexidade às propriedades hidrogeomecânicas da rocha, especialmente nas graníticas (CFCFF, 1996; Twidale & Vidal

---

Romaní, 2005; Vidal Romaní & Vaqueiro, 2007). O tipo de litologia, estrutura e grau de alteração implicam diferentes condutividades hidráulicas, transmissividades e coeficientes de armazenamento para as diversas formações geológicas, afectando assim a infiltração, movimento e ocorrência de águas subterrâneas (CFCFF, 1996; Shaban et al., 2006; Jha et al., 2007; Yeh et al., 2009).

Os pesos específicos atribuídos em cada caso são variáveis, sendo atribuído a cada litótipo o valor correspondente às suas propriedades geológicas e hidrogeotécnicas seguindo-se as normas recomendadas para a caracterização da compartimentação de maciços rochosos (ISRM, 1978b, 1981; 2007; GSE, 1995; CFCFF, 1996;).

### **Densidade de lineamentos tectónicos**

A densidade de lineamentos tectónicos é habitualmente utilizada em estudos hidrogeológicos, e o exemplo concreto disso mesmo são os vários trabalhos dados publicados sobre o tema (Lattman & Parizek, 1964; Krishnamurthy et al., 1996; Sener et al., 2005; Sander, 2007). Os lineamentos tectónicos podem ser usados para inferir os possíveis movimentos e locais de armazenamento de água subterrânea num determinado maciço, bem como na determinação dos principais parâmetros hidrogeológicos desse mesmo maciço. Os lineamentos tectónicos estão fortemente correlacionados com a porosidade secundária das formações, bem como com a sua transmissividade, indicando possíveis áreas de infiltração e circulação de água (Yeh et al., 2009). No nosso estudo foi considerada a definição de lineamento dada por D. W. O'Leary (O'Leary et al., 1976) que o define como qualquer propriedade linear, simples ou complexa, das estruturas geológicas, estando relacionadas com fracturas, diaclases ou superfícies de descontinuidade, distribuídas em padrões rectilíneos ou ligeiramente curvilíneos.

Após a elaboração do primeiro esboço de lineamentos tectónicos, com recurso a técnicas de foto-interpretação, é sempre necessária a validação dos lineamentos identificados através de trabalho de campo. Os lineamentos podem ainda ser classificados, tendo em conta a sua importância relativa, e divididos em vários grupos (1ª ordem, 2ª ordem, ...). No *software* SIG utilizado (ArcGis 9.3), a função de cálculo de densidade de linhas calcula a densidade de linhas na vizinhança de cada ponto (Greenbaum, 1985), em unidades de comprimento, por unidade de área. Conceptualmente, com esta função, é desenhado um círculo à volta de cada célula do ficheiro *raster* usando um raio de pesquisa definido. O *software* contabiliza o comprimento de cada linha que está dentro desse círculo, multiplicando o valor do comprimento de cada segmento pelo valor da ordem que foi previamente definido, fazendo a sua soma, dividindo esse valor pela área do círculo (Equação 4), em que C1 e C2

---

representam o comprimento de linha que está contida dentro do círculo, e os valores correspondentes ao peso de cada ordem de lineamentos é dado pelos valores de O1 e O2).

Densidade =  $((C1 * O1) + (L2 * O2)) / (\text{Área do círculo})$

Equação 4 – Cálculo da densidade de lineamentos

### **Uso do solo**

O uso do solo, especialmente no que diz respeito à distribuição do coberto vegetal, das áreas urbanas (ou outras áreas impermeabilizadas) e dos afloramentos rochosos apresenta-se como um factor chave nos estudos ligado à água subterrânea, nomeadamente nos estudos mais focados na infiltração e recarga (e.g., Sener et al., 2005; Sreedevi et al., 2005; Shaban et al., 2006; Jha et al., 2007).

Os diferentes tipos de coberto vegetal afectam os processos ligados à infiltração de várias maneiras, a saber (Yeh et al., 2009): a) a decomposição orgânica das raízes contribui, de forma decisiva, para a dissociação das partículas do solo e rocha, facilitando os processos de percolação da água; b) a vegetação evita a evaporação directa da água a partir do solo; c) a vegetação atrasa o escoamento superficial, aumentando assim substancialmente as possibilidades de infiltração.

Uma vez que a cartografia oficial do uso do solo (Carta de Ocupação do Solo, CNIG; Corine Land Cover, EEA) apresenta, em geral, algum atraso temporal, bem como uma escala desadequada aos estudos de pormenor, em geral é necessário proceder ao seu refinamento e actualização, com recursos a fotografias aéreas ou imagem de satélite de alta resolução actualizadas, bem como completar esse processo recorrendo a uma validação com levantamentos de campo.

### **Densidade de drenagem**

A análise do padrão e densidade da rede de drenagem permite complementar a avaliação das áreas potenciais de infiltração. A sua estrutura está, em geral, dependente da litologia, fornecendo informações valiosas acerca da percolação de água. A densidade da rede de drenagem é calculada segundo a mesma metodologia da densidade de lineamentos, e mede a densidade de linhas na vizinhança de cada ponto (Greenbaum, 1985), em unidades de comprimento, por unidade de área. Diversos estudos recentes apresentam como vantajosa a integração de mapas de densidade e tipo de rede de drenagem nos estudos de hidrogeomorfologia (Edet et al., 1998; Shaban et al., 2006; Jha et al., 2007), assumindo que o escoamento superficial será uma função inversa da circulação subterrânea (i.e., quanto



---

maior for a quantidade de água que se escoe superficialmente, menor será a quantidade disponível para infiltração e recarga dos aquíferos), sendo assim atribuído um peso superior às áreas com menor densidade de drenagem.

### **Declive**

O declive é, sem dúvida, um dos factores mais importantes que condicionam a infiltração de água (Jha et al., 2007; Yeh et al., 2009). Uma vez que a precipitação corresponde à principal fonte de água disponível para infiltração, o tempo de permanência da água superficial num determinado local é uma função inversa dos valores de declive nesse mesmo local. Como tal, os declives apresentam um factor de ponderação elevado, e o maior peso deverá ser atribuído aos valores de declive mais baixos.

### **Precipitação**

A precipitação tem um papel preponderante no ciclo hidrológico, sendo, neste caso, a principal fonte de água disponível para infiltração. O factor de ponderação a atribuir a este parâmetro deverá ser ajustado em função dos valores de precipitação médios, do balanço hídrico mensal, bem como das variações espaciais da precipitação. Às áreas com maiores valores de precipitação serão dados os maiores pesos específicos.

### **Cartografia geomorfológica e trabalho de campo**

Os modelos hidrogeológicos servem para analisar, quantitativamente e qualitativamente, os fluxos de água sub-superficiais e subterrâneos num determinado local, sendo uma ferramenta muito útil na avaliação e gestão dos recursos hídricos subterrâneos (e.g., Neuman & Weirenga, 2003; Neuman, 2005). Assim, para que se possa construir e validar um modelo hidrogeológico de um determinado local, devem ser aplicadas as técnicas básicas em geomorfologia, geologia e hidrogeologia (e.g., Fetter, 2001; Assaad et al., 2004). A terminologia e os critérios usados na descrição e caracterização dos maciços rochosos e seu grau de alteração são os sugeridos pela *International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1978b; 1981; 2007), pela *Geological Society Engineering Group* (GSE, 1995) e pelo *Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow* (CFCFF, 1996).

---

### **3.4. Aplicações: hidrogeomorfologia e recursos hídricos subterrâneos**

A pesquisa e gestão das águas subterrâneas correspondem, em geral, a tarefas complexas, devido essencialmente a aumentos na procura, à diminuição nas disponibilidades e problemas de qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. A interdependência entre as variáveis geomorfológicas e as características hidrológicas de uma determinada área tornam a hidrogeomorfologia uma área de grande importância, podendo ser aplicada quer ao regime superficial, quer subterrâneo (Babar, 2005).

Nos últimos anos, surgiram vários estudos, onde a hidrogeomorfologia é aplicada, com a ajuda de ferramentas SIG, na prospecção, pesquisa, gestão e protecção de recursos hídricos subterrâneos. Uma vez que os problemas relativos à localização dos recursos naturais apresenta uma componente espacial, as ferramentas SIG apresentam-se como uma potente ferramenta na análise espacial dos problemas, bem como no estudo e implementação de alternativas, a diferentes escalas. Os resultados obtidos podem ajudar a caracterizar muitos dos parâmetros hidrogeomorfológicos, tais como o escoamento superficial, o potencial de infiltração ou as áreas de recarga de uma determinada área.

Nos pontos seguintes, descrevem-se algumas das potenciais aplicações da hidrogeomorfologia, em estudos ligados aos recursos hídricos subterrâneos.

#### **3.4.1. Gestão de recursos hídricos subterrâneos**

A gestão correcta dos recursos hídricos subterrâneos, dada a crescente procura e o facto das reservas serem limitadas, implica o conhecimento das condições de recarga, da geomorfologia de superfície, da litologia, da alteração e da fracturação, assim como o conhecimento da geometria dos aquíferos. Os métodos e técnicas da hidrogeomorfologia permitem perceber melhor o armazenamento e circulação de água subterrânea, bem como do uso racional das quantidades disponíveis/renováveis (Babar, 2005). A hidrogeomorfologia poderá assim contribuir para uma melhor base científica para um uso sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

O uso sustentado dos recursos hídricos implica o conhecimento quer das próprias reservas, quer das recargas e extracções. A gestão dos recursos requer assim um conhecimento desses valores, para que seja adequada a quantidade extraída à quantidade que entra no sistema. A extracção acima desses valores só poderá ser sustentada com acções e mecanismos que possam aumentar os valores de entrada no sistema, para que se possa o equilíbrio do sistema aquífero (Babar, 2005).

---

Em geral, os valores de recarga natural dos aquíferos, por infiltração, situam-se em valores entre os 5 e os 20% da precipitação média anual do local. Em Portugal, Carvalho et al. (2000) apontam, para as formações cristalinas, valores de infiltração na ordem dos 14-17%, advertindo que, para uma exploração sustentada dos recursos, deve ser considerado um valor regionalizado conservador na ordem dos 10%. Outros autores apresentam também valores da mesma ordem de grandeza para outras áreas de rochas cristalinas em Portugal (e.g., Calado, 2001; Lima, 2001) e do estrangeiro (e.g., Índia: Babar, 2005; República Checa: Krásný, 1999). Para minimizar os impactos devidos à crescente procura, poderão ser desenvolvidas algumas técnicas e metodologias para aumentar os processos de recarga natural. A hidrogeomorfologia poderá ser assim uma excelente ferramenta ao apontar, por exemplo, as áreas onde preferencialmente, devido à combinação dos factores condicionantes, se fará a recarga de um determinado aquífero, podendo conduzir ainda a medidas de protecção dessas áreas sensíveis.

### **3.4.2. Áreas de máximo potencial de infiltração**

Uma das aplicações mais importantes da hidrogeomorfologia corresponde à definição de áreas com maior potencial de circulação de águas subterrâneas e à definição das áreas onde o potencial de infiltração será maior. Estes aspectos são, em geral, representados através de cartografia apropriada, baseada em análise multi-critério, realizadas em ambiente SIG. Esse é, de facto, o aspecto fundamental a resolver: a combinação dos diversos factores, de acordo com critérios definidos, que permita a produção de um índice global, que reflita a combinação dos diferentes factores considerados.

Tal como foi referido anteriormente, o aumento na procura, bem como a diminuição das disponibilidades de água tornaram, assim a crescente poluição, tornaram a água subterrânea um recurso vital, em áreas rurais ou urbanas, para as diversas actividades humanas. Assim, o recurso a técnicas hidrogeomorfológicas, detecção remota e SIG tornaram mais simples a definição dos locais com maior potencial em termos circulação e armazenamento de águas subterrâneas, bem como a definição mais correcta de áreas potenciais de infiltração. Nos últimos anos, vários estudos têm aplicado com sucesso os métodos e técnicas da hidrogeomorfologia aliados às ferramentas SIG e detecção remota. Desses estudos, destacamos os principais, nas seguintes áreas relacionadas com os recursos hídricos subterrâneos, a saber: estudo de zonas de fracturação com vista à localização de furos de pesquisa e captação de água (Lattman & Parizek, 1964; Sinha et al., 1990; Sander, 2007; Surette et al., 2008), estudos hidrogeomorfológicos/hidrogeológicos com recursos a detecção remota (Greenbaum, 1985; Krishnamurthy et al., 1996; Srinivasa

---

Rao et al., 1997; Edet et al., 1998; Babar, 2001, 2002a, 2002b; Jaiswal et al., 2003; Sener et al., 2005; Shaban et al., 2006) hidropedologia e hidromorfologia (Patil et al., 1999; Espinha Marques et al., 2006; Espinha Marques et al., 2007; Espinha Marques, 2007), hidroecologia ou hidrogeoecologia (Loague et al., 2006; Hancock et al., 2009), a modelação hidrológica (Ebel & Loague, 2008; Samper et al., 2007; Fujimoto et al., 2008), hidrogeologia urbana (Afonso et al., 2009; Afonso et al., 2010b) e avaliação do potencial de recursos hídricos subterrâneos e áreas de recarga (Kulkarni et al., 1994; Adyalkar et al., 1996; Carvalho, 1996; Marques et al., 2003; Carvalho et al., 2005a; Sreedevi et al., 2005; Carvalho, 2006; Yeh et al., 2009; Teixeira et al., 2010a) e apoio à decisão e gestão de recursos hídricos subterrâneos (Chowdary et al., 2003; Jha et al., 2007; Chowdary et al., 2009).

### **3.4.3. *Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos***

A prospecção e pesquisa de recursos hídricos de uma determinada área envolve, necessariamente, um estudo detalhado da água superficial, sub-superficial e subterrânea, bem como das suas interacções. A integração de todos os dados relativos a estes aspectos tornou-se muito mais rápida e eficaz com a adopção de técnicas SIG. Os estudos de prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos englobem, geralmente, dados de trabalhos de campo, de detecção remota, de ensaios laboratoriais, bem como de outros trabalhos cartográficos. A integração das diversas bases de dados é assim facilitada através das ferramentas SIG, o que culmina em resultados mais rápidos, mas também mais fiáveis (Babar, 2005).

Como já foi referido, é importante conhecer aprofundadamente a quantidade e qualidade da água de um determinado aquífero, para que a sua utilização seja feita de uma forma correcta. No entanto, e uma vez que não há um conjunto de metodologias padronizadas para a avaliação dos recursos, por vezes os erros de cálculo das quantidades disponíveis apresenta-se como um problema sério. Uma das soluções possíveis corresponde à aplicação de técnicas e métodos da hidrogeomorfologia e da hidrogeologia, a escalas adequadas. Os dados necessários para a aplicação destas técnicas devem ser sempre o mais completos que seja possível obter, correspondendo aos seguintes aspectos:

- Normais climatológicas, com séries temporais mínimas de 30 anos
- Níveis da água subterrânea em várias alturas do ano hidrológico
- Caudais e quantidade total de água extraída
- Cartografias geomorfológica e hidrogeológica
- Cartografia geológico-geotécnica (litologia, estrutura e grau de alteração)
- Rede de drenagem
- Tipo de solo

- 
- Ocupação de superfície
  - Declives

Uma avaliação mais fiável dos recursos hídricos subterrâneos está assim facilitada, pelo cruzamento das condicionantes enumeradas. Ao nível hidrogeológico, é primordial para o sucesso de uma operação de desenvolvimento de recursos hídricos subterrâneos, a integração coerente de todos os elementos, obtidos a distintas escalas, tais como dados de geologia e geomorfologia regional, de fotogeologia, de tectónica, e do estudo da compartimentação do maciço em termos do grau de fracturação e de alteração. Deve-se, na medida do possível, cruzar e sintetizar toda esta informação a escala(s) conveniente(s) e, assim, representá-la em mapas temáticos georreferenciados, se possível sobrepostos para fácil análise comparada (Carvalho et al., 2007; Teixeira et al., 2010a). À geomorfologia, especialmente à geomorfologia estrutural, é atribuído frequentemente um papel importante em estudos de prospecção hidrogeológica em meios fracturados (e.g., Bisson & Lehr, 2004; Carvalho, 2006) indicando, quer feições geomorfológicas que condicionam a recarga/descarga dos aquíferos quer estruturas geológicas que podem condicionar a circulação de água subterrânea.

Assim, a abordagem interdisciplinar hidrogeomorfológica, em conjunto com a hidrogeológica, é uma mais-valia para a elaboração de planos de pesquisa e poderá contribuir para a definição de armadilhas hidrogeológicas, bem como constituir, por exemplo, um auxiliar precioso na definição mais rigorosa de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas. A esta aproximação denominaram Bisson & Lehr (2004) o paradigma das megabacias hidrogeológicas que poderá ser justificado, tal como assinalam Carvalho & Chaminé (2007) nalgumas áreas do Maçico Antigo, particularmente no caso das águas minerais naturais e, porventura, algumas águas de nascente.



---

## ***Parte 2***





---

#### **4. Traços gerais da geomorfologia e da hidrogeologia do NW Penínsular**



---

## **4. Traços gerais da geomorfologia e da hidrogeologia do NW Penínsular**

### **4.1. Considerações iniciais**

O espaço territorial que abrange a Galiza, em Espanha, e o Norte de Portugal corresponde a uma área com cerca de 44.669 km<sup>2</sup>, caracteriza-se, à parte de algumas especificidades, por um território de grandes afinidades. As regiões Norte e Centro de Portugal são áreas com contrastes geológicos, geomorfológicos, climatológicos, hidrogeológicos e sócio-económicos. Com uma área aproximada de 40.000 km<sup>2</sup> (tendo como limite Sul a latitude de Castelo Branco, que corresponde praticamente a metade da área total do país), é delimitada pelo Oceano Atlântico a Oeste e pelas fronteiras espanholas da Galiza, a Norte, e de Castela e Leão, a Este. A este imenso polifacetado espaço territorial é que se designa, genericamente, por NW Penínsular.

Ribeiro et al. (1987) caracterizam a Península Ibérica, onde se inserem as regiões Norte e Centro de Portugal aqui referidas, como um território de contrastes: um contraste Norte – Sul, onde se dá uma transição gradual entre as paisagens da Europa húmida (no Norte) até às paisagens norte-Africanas (no Sul); devido à influência marítima, a Península apresenta variações fortes entre o litoral e as zonas interiores, verificando-se, ainda, um contraste assinalável entre as regiões influenciadas pelo Oceano Atlântico e pelo Mar Mediterrâneo.

Nos pontos seguintes será descrito o quadro geral da geomorfologia e da hidrogeologia do NW Penínsular, dando natural enfoque aos sectores-chave e sua envolvente regional, que se localizam, em traços gerais, desde a raia transfronteiriça do Sul da Galiza/Norte de Portugal até ao Centro do nosso país.

### **4.2. Quadro geográfico e climático**

O território de Portugal Continental exhibe características geográficas e climáticas específicas, que diferenciam claramente o território nacional em relação a outras regiões europeias. As condicionantes principais do seu clima prendem-se, basicamente, com a posição marginal do continente português relativamente ao Oceano Atlântico, numa latitude subtropical (Ribeiro et al., 1987; Ribeiro et al., 1988). O clima prevalecente resulta, portanto, das influências mediterrânica e atlântica. A influência mediterrânica faz-se sentir predominantemente nos meses de Verão, estando associada a temperaturas e insolação

---

elevadas e a uma quase total ausência de precipitação. A influência atlântica caracteriza-se pelas superfícies frontais predominantes no Inverno e que, deslocando-se de Oeste para Este, são responsáveis pela maior parte da precipitação que ocorre. Assim, a um Verão quente e praticamente sem precipitação, opõe-se um Inverno com temperaturas suaves, mas bastante pluvioso, especialmente na fachada litoral ocidental. Os ventos predominantes são de Norte e Noroeste e fazem-se sentir sobretudo no Verão (Ribeiro et al., 1987; 1988). As regiões Norte e Centro de Portugal, dada a sua extensão geográfica, compreendem nos seus domínios realidades bem díspares, com cidades desenvolvidas e prósperas junto ao litoral, e mundos rurais de aldeias serranas, nas regiões interiores do Minho, de Trás-os-Montes e Alto Douro ou das Beiras (Ribeiro et al., 1987; 1988). Segundo estes autores, a proximidade do Oceano Atlântico é um factor decisivo na fisionomia do país, explicando muitos dos seus aspectos relacionados com o povoamento, o uso do solo e a disponibilidade de recursos hídricos.

O clima da região Norte e Centro de Portugal é, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (McKnight & Hess, 2000; Peel et al., 2007; IM/AEMet, 2011), temperado, com um Verão quente e seco (Csa), correspondendo o pico do calor ao longo do ano ao período de menores precipitações, e naturalmente maior secura, para as áreas do vale do Douro e a Sul da Cordilheira Central, e com um Verão seco e temperado (Csb), para a maior parte das áreas do Norte de Portugal e da Galiza (figura 46, Peel et al., 2007; IM/AEMet, 2011).

A distância ao mar, a distribuição e a orientação do relevo, muitas vezes paralelo à linha de costa, condicionam fortemente a distribuição da precipitação. As elevações determinam a existência de chuvas associadas à orografia nas vertentes expostas aos ventos marítimos e criam situações de abrigo nas vertentes opostas (efeito de *föhn*). Alcoforado et al. (1982) refere também este aspecto, apontando a importância dos primeiros relevos como obstáculos às massas de ar húmidas, provenientes do Atlântico.

As elevações constituem assim barreiras importantes, que retardam o movimento de massas de ar húmido, gerando movimentos ascensionais que poderão desencadear precipitação. É por esse motivo que a respectiva distribuição mostra um paralelismo tão grande com o relevo, como já era notado por H. Lautensach em 1932 (Ribeiro et al., 1988). No entanto, a distribuição do relevo não tem influência só na precipitação. Isolando certas regiões dos ventos vindos do mar, acentua a continentalidade do clima, tendo assim efeitos importantes sobre as amplitudes térmicas diurnas e anuais (Monteiro, 2005).

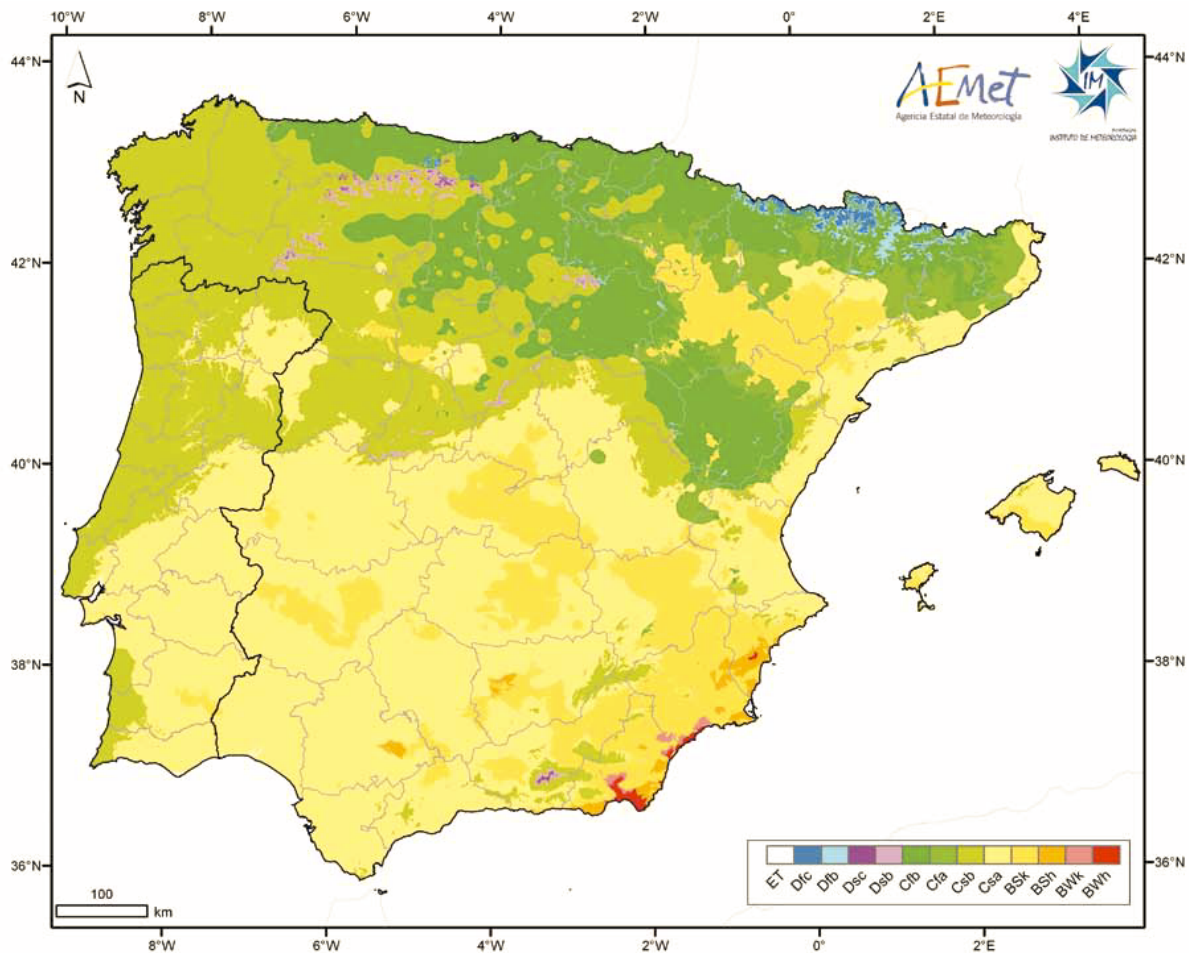


Figura 46 - Classificação climática de Köppen-Geiger na Península Ibérica e nas Ilhas Baleares (segundo IM/AEMet, 2011).

A distribuição da precipitação média anual em Portugal revela um forte contraste entre o litoral e o interior e entre o norte e o sul do país (Ribeiro et al., 1987; 1988; Daveau, 1995). A precipitação varia assim desde mais de 3000 mm/ano em certas áreas das Serras do Gerês e da Cabreira (figura 47), até valores inferiores a 300 mm/ano no vale da Ribeira de Massueime, na Beira transmontana, sendo comuns os valores inferiores a 500 mm/ano nos vales dos afluentes da margem esquerda do Douro, bem como no Baixo Alentejo e Algarve (Daveau et al., 1977; Daveau, 1985b; Ribeiro et al., 1987; 1988; Daveau, 1995).

Em termos gerais, o Noroeste de Portugal apresenta muitas características atlânticas, cujas fachadas são, em geral, mais chuvosas (em média, cerca de 1200 mm/ano). As terras baixas de Trás-os-Montes e o vale do Douro (e grande parte do Sul do país), dada a sua distância ao litoral, apresentam características mediterrâneas (Daveau et al., 1977; Daveau, 1985b; Ribeiro et al., 1987; 1988).

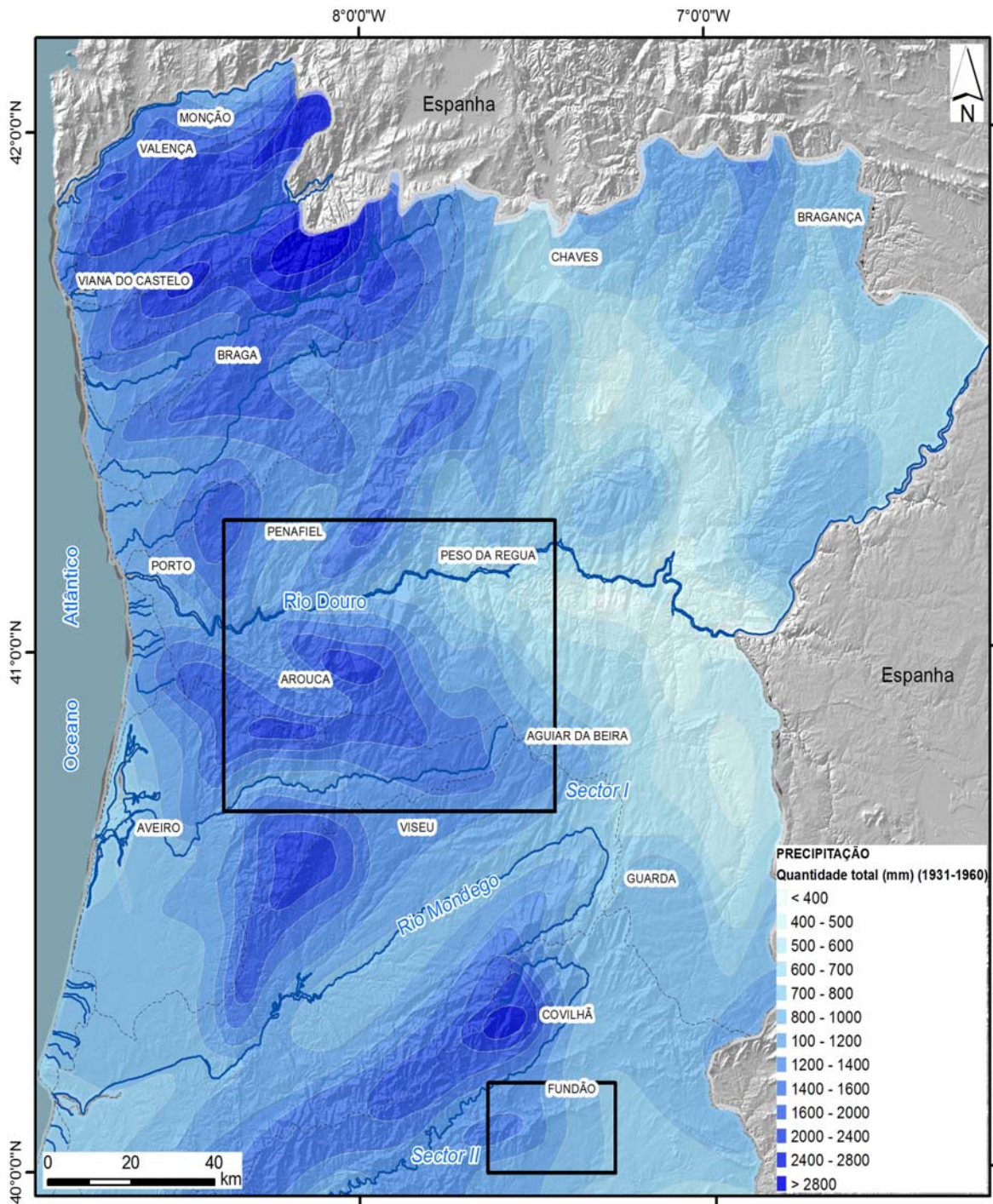


Figura 47 - Carta de isoietas anuais médias das regiões Norte e Centro de Portugal (adaptado de: I. Ambiente, 1991/92), com indicação dos dois sectores de estudo desta dissertação.

Carvalho (2006) aponta também este contraste litoral-interior, referindo que “a grande divisão hidrogeológica do Maciço Antigo Português é determinado pela megaestrutura Verin-Réguia-Penacova. A Oeste deste acidente regional, a precipitação anual média excede 1000 mm, chegando a 3000 mm no maciço do Gerês. Para Este e Sul as condições de aridez prevalecem havendo zonas na Bacia do rio Douro, junto à fronteira espanhola, onde a precipitação anual média baixa dos 500 mm”.

---

A distribuição das temperaturas médias anuais apresenta variações significativas, desde as temperaturas médias anuais mais quentes, na ordem dos 16°C, em áreas junto à fachada litoral atlântica, estendendo-se um pouco para o interior à área de Braga e pelo vale do Rio Mondego, até às temperaturas a rondar os 7° a 10°C no topo das serras do Marão, de Montemuro e da Estrela. De referir ainda as temperaturas elevadas registadas no vale do Douro, na área da Terra Quente Transmontana, que apresentam um Verão quente, seco e prolongado (figura 48). Além da variação da temperatura com a altitude, é fundamental referir que estas variações estão também relacionadas com a influência da continentalidade (Ribeiro et al., 1987; 1988). Às temperaturas médias anuais, fortemente condicionadas pelo relevo, aliam-se valores diferentes nas amplitudes térmicas anuais. Estas são sempre mais baixas na fachada ocidental (cerca de 10°C na região do Porto) e à medida que se caminha para o interior estes valores aumentam rapidamente. Nota-se, todavia, que esse aumento não é regular, e que há uma nítida aceleração que coincide com a barreira de condensação do Norte de Portugal.

Desta observação do traçado da distribuição das temperaturas ressalta uma clara influência da distância à grande massa de água originada pelo Oceano Atlântico, do relevo e da sua distribuição como seu condicionante. Assim, os valores baixos da humidade do ar contribuem para o seu rápido aquecimento durante o dia e durante o Verão, bem como para um arrefecimento rápido durante a noite e durante o Inverno, acentuando, assim, os valores da amplitude térmica diurna e anual.

A distribuição dos elementos climáticos principais (precipitação e temperatura), associada às características geológicas e geomorfológicas da região Norte e Centro de Portugal, assumem um controlo importante sobre a evapotranspiração real, condicionando fortemente os excedentes totais e as disponibilidades de recursos hídricos subterrâneos (Carvalho, 2006). Os valores locais dos dados hidroclimatológicos serão alvo de caracterização pormenorizada, no capítulo seguinte, para cada sector / pólo de estudo.

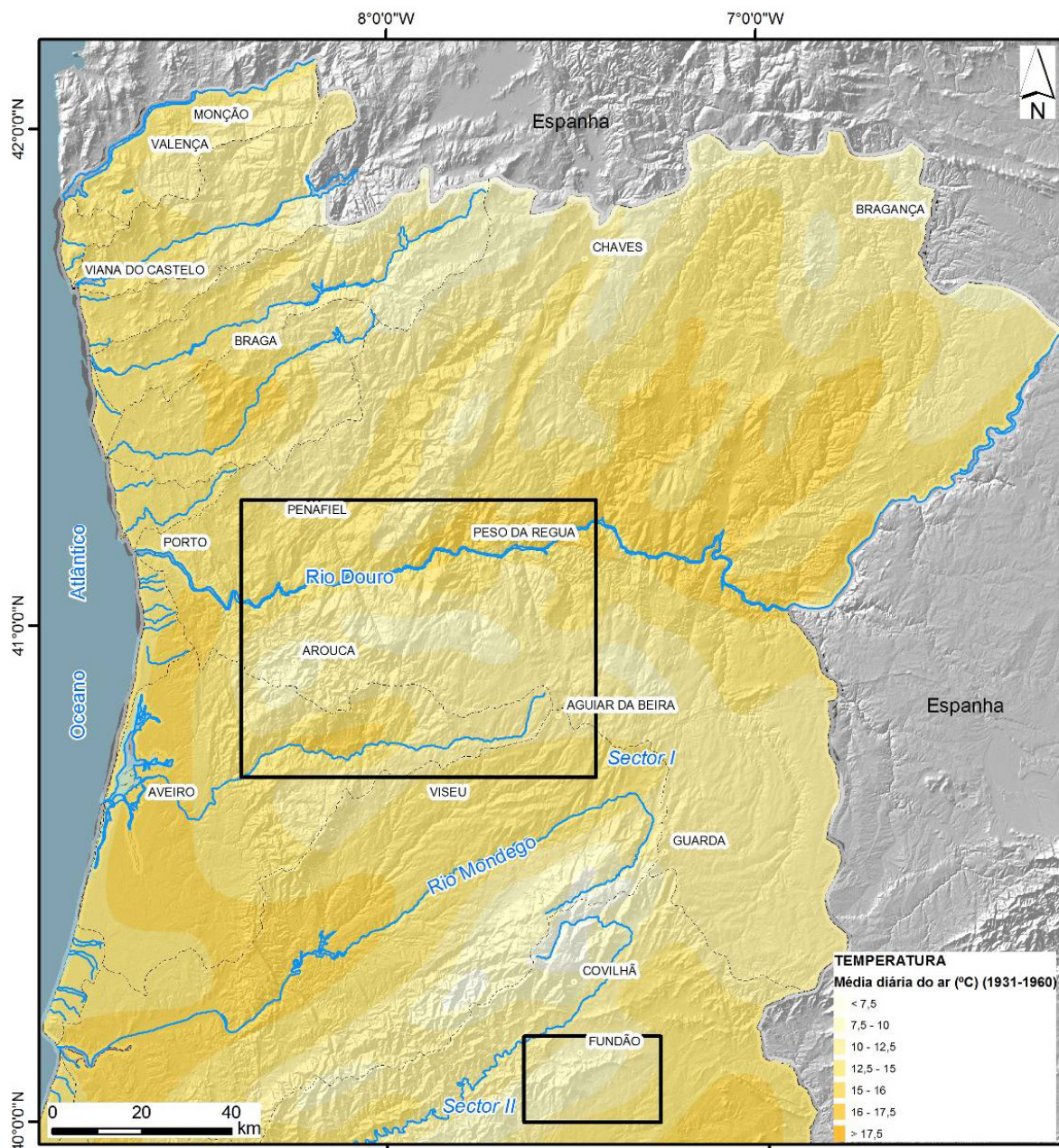


Figura 48 - Carta de temperaturas anuais médias das regiões Norte e Centro de Portugal (adaptado de: I. Ambiente, 1991/92), com indicação dos dois sectores de estudo desta dissertação.

A ocupação do solo do território nas regiões Norte e Centro do país é claramente dominada pelas áreas agrícolas (38%) e florestais (53%). A sua distribuição reflecte as feições mais importantes do clima referidas anteriormente. Desta forma, as áreas florestais, apesar de dispersas por todo o território, predominam nas áreas de relevo mais acidentado, nomeadamente nas vertentes das serras da Estrela, do Caramulo, da Freita, de Montemuro, do Marão, do Alvão, de Montesinho e da Peneda-Gerês (figura 49). As áreas agrícolas, nas quais se incluem as culturas de regadio e sequeiro, bem como os espaços ocupados com



vinha ou pomares, concentram-se sobretudo na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, na área da Cova da Beira, bem como nas regiões entre Aveiro e a Figueira da Foz e do Porto a Viana do Castelo. Nestas últimas situações, as áreas agrícolas surgem intercaladas com as áreas urbanizadas, onde ocorrem as maiores aglomerações urbanas destas regiões: Porto, Braga, Aveiro e Coimbra.

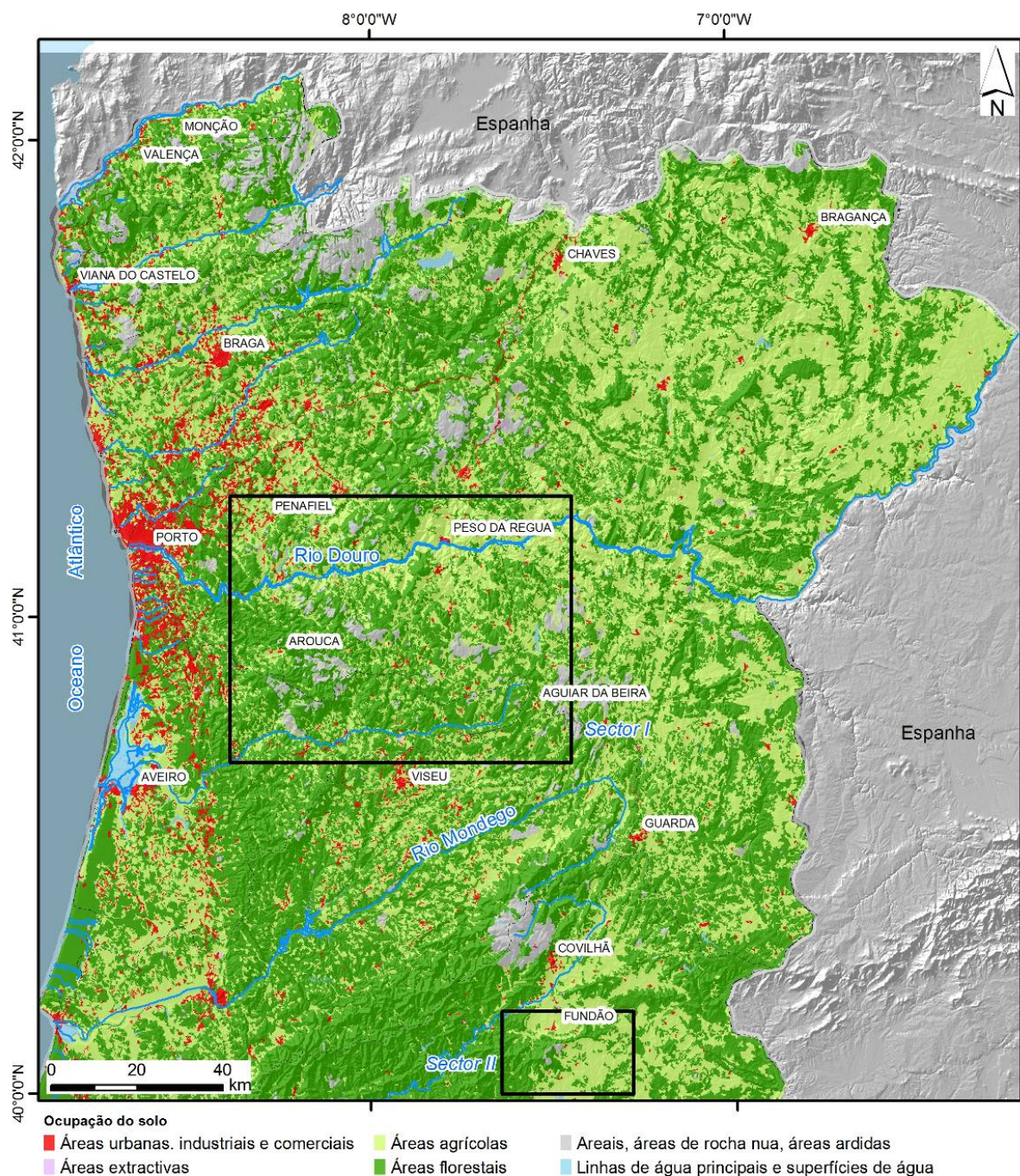


Figura 49 – Carta de ocupação do solo das regiões Norte e Centro (adaptada e simplificada de CORINE LAND COVER, 2006; Caetano et al., 2009), com indicação dos dois sectores de estudo desta dissertação.

---

### 4.3. Quadro geotectónico

A diversidade litológico-estrutural das rochas antigas da Península Ibérica levou a que vários estudos se debruçassem sobre esta temática, o que levou à subdivisão do Maciço Antigo Ibérico em várias *Zonas*, de acordo com critérios estratigráficos, tectónicos, metamórficos, magmáticos, paleogeográficos e metalogénicos (Lotze, 1945; Ribeiro et al., 1979; Dallmeyer & Martínez García, 1990). Assim, segundo a síntese de Dallmeyer & Martínez García, 1990, consideram-se as seguintes zonas (figura 50): Zona Cantábrica (ZC), Zona Astúrica-Occidental-Leonesa (ZAOL), Zona Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM), Zona Centro-Ibérica (ZCI), Zona de Ossa-Morena (ZOM) e Zona Sul-Portuguesa (ZSP).

O ciclo orogénico Varisco (ou Hercínico) assenta numa estrutura em leque, mais verticalizada no centro e inclinada para o exterior das *Zonas*, estabelecendo-se deste modo uma diferenciação entre *zonas internas* (com o Precâmbrico e o Paleozóico inferior bem representados, e deformação mais intensa) e as *zonas externas* (dominadas pelo Paleozóico, e com deformação menos intensa) (Ribeiro et al., 1979). As diferentes zonas são geralmente delimitadas por acidentes tectónicos profundos, separando compartimentos crustais de natureza diferente. Os trabalhos recentes apontam que estas *Zonas* são constituídas por unidades com características estratigráficas, estruturais e metamórficas próprias e distintas das unidades contíguas, sendo geralmente designados por *Terrenos Tectonoestratigráficos*, conforme se indica na figura 50 (e.g., Pinheiro et al., 1996; Chaminé, 2000; Ribeiro, 2006; Ribeiro et al., 2007; 2010).

As regiões Norte e Centro de Portugal integram-se no Maciço Hespérico, constituído, essencialmente, por um substrato rochoso de idade paleozóica e pré-câmbrica (e.g., Ribeiro et al., 1979; Gama Pereira, 1987; Gama Pereira, 1998; Ribeiro et al., 2009). Do ponto de vista geotectónico regional a área em estudo insere-se maioritariamente na ZCI e na ZGTM (Ribeiro et al., 1979; Farías et al., 1987). A faixa de rochas metamórficas entre o Porto (Foz do Douro) e Espinho-Albergaria-a-Velha integram-se na ZOM (Chaminé, 2000; Chaminé et al., 2003a; 2003b), e surgem ainda, na área de Espinho – Águeda uma série de formações sedimentares, que recobrem estes terrenos antigos (e.g., Gomes et al., 2007; Gomes, 2008).

TRAÇOS FUNDAMENTAIS CADEIA VARISCA IBÉRICA

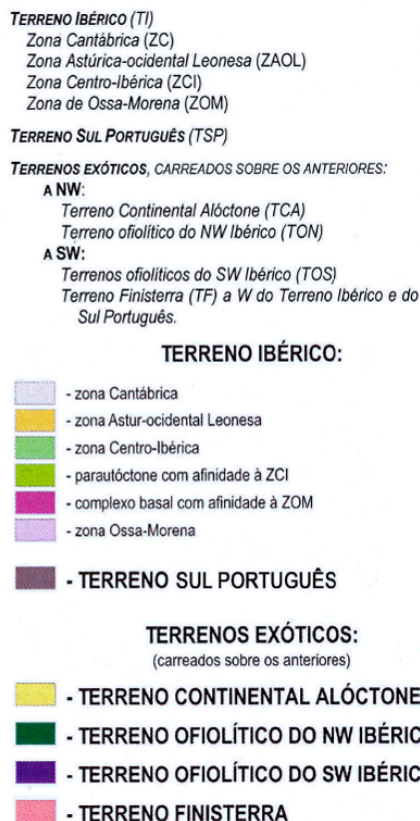
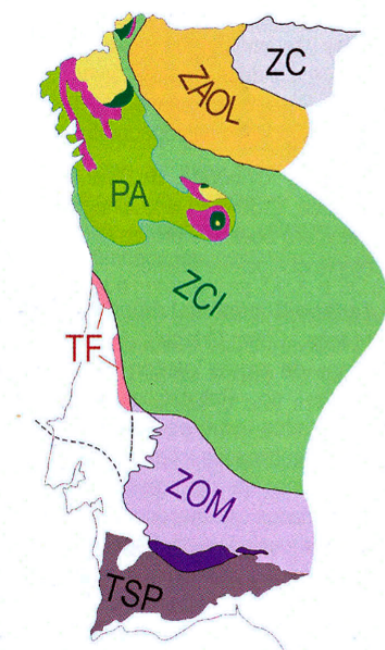


Figura 50 - Unidades estruturais de 1ª ordem (terrenos) e de 2ª ordem (Zonas) no Varisco Ibérico (adaptado de Ribeiro et al., 1996; Vera, 2004).

A fracturação tardi-Varisca reflecte os últimos impulsos da orogenia Varisca e constitui a expressão de deformação em regime frágil que afectou o Maciço Hespérico entre o fim do dobramento e metamorfismo Varisco e as fases de distensão seguintes, durante o Mesozóico (Ribeiro et al., 1990a; Gomes et al., 2007; Vicente & Vegas, 2009), sendo composta por uma importante rede de falhas de desligamento conjugadas, instaladas no período compreendido entre os 305 Ma e os 270 Ma, originadas por uma compressão máxima orientada N-S a NW-SE.

As falhas tardi-Variscas, com extensões que podem chegar às várias centenas de quilómetros, apresentam três orientações preferenciais:

- NE-SW a NNE-SSW (família mais representativa, com orientação N20°E a N45°E, sendo, na sua maioria, constituída por falhas de desligamento esquerdo);
- NW-SE a NNW-SSE (conjugadas das anteriores);
- E-W a ENE-WSW.

As falhas tardi-Variscas NE-SW a NNE-SSW são as que foram preferencialmente reactivadas como falhas normais durante a riftogénese Mesozóica, e como falhas inversas durante a orogenia Alpina (Gomes, 2008).

---

Os estudos geotectónicos e geomorfológicos regionais apontam que as principais megaestruturas tectónicas no Norte e Centro de Portugal são: i) a falha Verin–Régua–Penacova e a falha Bragança–Vilarica–Unhais da Serra, com uma orientação média NE-SW (e.g., Ribeiro, 1974; Brum Ferreira, 1978; 1980; 1981b; Ribeiro, 1984; Cabral, 1995); ii) a faixa de cisalhamento de Porto–Coimbra–Tomar, com direcção NNW-SSE (e.g., Ribeiro et al., 1979; Gama Pereira, 1987; Chaminé, 2000; Chaminé et al., 2003a; 2003b); (iii) a faixa de cisalhamento de Vigo–Vila Nova de Cerveira–Régua, com direcção média NW-SE (e.g., Ribeiro, 1974; Brum Ferreira, 1991; Cabral, 1995); e, (iv) a faixa de cisalhamento do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão igualmente com direcção NW-SE (e.g., Ribeiro, 1974; Aguado, 1992; Aguado & Martínez-Catalán, 1994; Pinto de Jesus, 2001; 2003).

A presença de alguns depósitos plio-quadernários, discordantes sobre o substrato, representa, ou o testemunho do arrasamento do relevo e modelação da superfície do Maciço Ibérico, ou o resultado do entalhe da rede hidrográfica actual (e.g., Araújo, 1991; Martín-Serrano, 1994; Gomes, 2008).

A parte do Maciço Ibérico que ocupa o território português é composta por sequências autóctones, parautóctones e alóctones, imbricadas tectonicamente segundo uma geometria complexa de cavalgamentos/carreamentos e outros acidentes tectónicos (e.g., Ribeiro et al., 1990a; 1990b; Chaminé et al., 2003c). As unidades lito- e tectono-estratigráficas autóctones e parautóctones são constituídas essencialmente por xistos negros, xistos ardosíferos, grauvaques, micaxistos e quartzitos. As unidades tectonoestratigráficas alóctones, situadas na região Nordeste, são constituídas por um complexo ofiolítico, serpentinitos, gabros, diques e basaltos. As rochas ígneas incluem granitóides pré-orogénicos a sin-/tardi-orogénicos, relativamente às fases de deformação regional da orogenia varisca (e.g., Ferreira et al., 1987; Ribeiro, 1993; Dias et al., 2000); foram ainda reconhecidas pelos estudos da especialidade, rochas de alto grau metamórfico (gnaisses, migmatitos e granitóides pré-Variscos), quer na região de Trás-os-Montes (Ribeiro et al., 1964; Ribeiro et al., 1990b; Marques et al., 1991-92) quer na região de Porto–Espinho–Coimbra (Ribeiro et al., 1979; Gama Pereira, 1998; Chaminé et al., 2003c).

A ZCI é, de longe, a zona que ocupa maior extensão no Norte e Centro de Portugal, e é constituída por um complexo de xistos e grauvaques, de tipo *flysch*, onde se destacam uma série de alinhamentos de rochas quartzíticas, que constituem raízes de megadobramentos de direcção NW-SE a W-E (Ribeiro et al., 1979; Teixeira, 1981). Estas rochas são, muitas vezes recortadas por intrusões de rochas granitóides, relacionadas com as fases compressivas da deformação Varisca (Ferreira et al., 1987; Dias et al., 2000).

A ZOM aflorante na região apresentada é litologicamente complexa, sendo constituída por terrenos polimetamórficos do Proterozóico e Paleozóico com uma geometria de imbricação

---

tectónica, numa estreita faixa entre Porto e Tomar, passando pelo Porto, Espinho, Águeda e Coimbra (e.g., Gama Pereira, 1987; 1998; Chaminé, 2000; Fernández et al., 2003; Chaminé et al., 2003a; 2003b; 2007; Gomes et al., 2007; Vazquez et al., 2007; Gomes, 2008).

A ZGTM, no sector português, é constituída, no seu núcleo, pelas rochas polimetamórficas do Maciço de Morais e Bragança, estando rodeadas por xistos com intercalações conglomeráticas e quartzíticas, e com raras intrusões graníticas (Ribeiro et al., 1979; Farias et al., 1987; Marques et al., 1991-92).

#### **4.4. Quadro geomorfológico e morfotectónico**

A divisão do território apresentada por H. Lautensach (Lautensach, 1967) para o Norte de Portugal abarca as duas grandes unidades, por ele designadas como “Alto Portugal Ocidental” e “Alto Portugal Oriental”. É uma divisão que tenta fazer uma síntese entre as condições climáticas e o relevo. Esta divisão faz todo o sentido, uma vez que correspondem, *grosso modo*, à área com relevo mais acidentado e mais influenciado pelo Atlântico e às áreas dos planaltos e vales transmontanos, respectivamente. No entanto, decidimos adoptar, na caracterização morfológica das regiões Norte e Centro de Portugal, as unidades sintetizadas por Feio & Daveau (2004) (figura 51), tendo em conta outros trabalhos sintetizados neste trabalho de revisão, sobre a geomorfologia desta área (e.g., Choffat, 1907; Ribeiro, 1940; Birot, 1949; Feio, 1951; Ribeiro, 1954; Brum Ferreira, 1978; 1980; 1983; Ribeiro et al., 1987, entre outros). Recentemente, a região Norte tem sido alvo de diversos estudos de índole geomorfológica, nomeadamente nos domínios de investigação das formações superficiais e dos processos de erosão hídrica (Soares, 2008), da geomorfologia regional e geomorfologia estrutural (Gomes, 2008) e dos movimentos de vertente (Pereira, 2009).

O Noroeste de Portugal corresponde a um amplo anfiteatro aberto a Oeste, com degraus sucessivos, descendo até à linha de costa, partindo dum rebordo de direcção aproximada NNW-SSE, (desde a serra da Peneda até à serra da Cabreira). Um segundo rebordo pode ser encontrado mais a Leste, com direcção aproximada NNE-SSW, desde a serra do Alvão até à serra da Freita. Esta área foi profundamente rasgada por diversos cursos de água, que aproveitam, na sua grande maioria, falhas e fracturas crustais com orientação ENE-WSW (Araújo & Pérez Alberti, 1999; Feio & Daveau, 2004).

A partir do rebordo de direcção NNW-SSE já mencionado, as altitudes sobem rapidamente, entrando-se no domínio de montanha (Ribeiro et al., 1987; Araújo & Pérez Alberti, 1999). Assim, o relevo apresenta-se organizado sob a forma de grandes blocos, escalonados a diferentes altitudes, separados por falhas ou fracturas, aproveitadas pelos cursos de água,

---

resultando em vales bastante encaixados. Como exemplo, podem apontar-se o conjunto do qual fazem parte a Serra da Peneda (1373 m), a Serra Amarela (1361 m) e a Serra do Gerês (1548 m), todas situadas a Norte do vale do rio Cávado. O conjunto da serra do Gerês prolonga-se para leste atingindo 1525 m na serra do Larouco junto à fronteira com a Galiza. A sul do rio Cávado podem servir como exemplo as serras da Cabreira (1261m) e um conjunto planáltico, designado por planalto do Barroso, com altitudes ligeiramente superiores a 1200 m.

A Leste desse primeiro rebordo montanhoso surge uma importante estrutura regional, com direcção NNE-SSW, sendo as suas escarpas bem visíveis em fotografia aérea, nos mapas topográficos e terreno. Este lineamento tectónico corresponde à falha Verín–Régua–Penacova, que deu origem a uma série de depressões tectónicas, onde se instalaram as povoações de Chaves, Vila Pouca de Aguiar, Vila Real, Mortágua (Araújo & Pérez Alberti, 1999; Feio & Daveau, 2004).

Este grande acidente marca a passagem para a unidade geomorfológica do Nordeste, em que o relevo se torna menos movimentado, e predominam as formas planálticas (planalto transmontano, Ribeiro et al., 1987; Araújo & Pérez Alberti, 1999). Os relevos que aqui se encontram não atingem as altitudes alcançadas na “barreira de condensação”, mas em geral, têm como base uma cota superior, próxima dos 700 m, o que leva a que os relevos pareçam, à primeira vista, muito menos imponentes.

A leste desta importante falha, surgem as Serras da Padrela (1148 m), da Coroa (1273), da Nogueira (1318 m) e de Bornes (1200 m). Estas duas últimas parecem já relacionadas com a movimentação de outra estrutura tectónica regional, também com direcção NNE-SSW: a falha Bragança – Vilariça – Manteigas. Mais para Leste, a superfície topográfica torna-se cada vez mais regular, atingindo uma platitude quase perfeita na área de Miranda do Douro, a cotas situadas entre 700 m e 800 m (Araújo & Pérez Alberti, 1999; Feio & Daveau, 2004). Este é o prolongamento para ocidente da grande superfície da Meseta setentrional. Junto a Miranda do Douro, o encaixe do Rio Douro é muito marcado, dando origem a paredes subverticais, sobretudo quando talhadas em rochas graníticas. À medida que se segue para juzante, este encaixe vai-se tornando cada vez mais imponente, originando a grandiosa paisagem do vale do Douro, onde o encaixe atinge cerca de 600 m do topo até à base da vertente, atingindo o seu expoente máximo na área entre Vila Real e Lamego, onde grandes montanhas se aproximam do rio (Serra do Marão, a norte do Douro, contrafortes da Serra do Montemuro, a sul) (Araújo & Pérez Alberti, 1999).

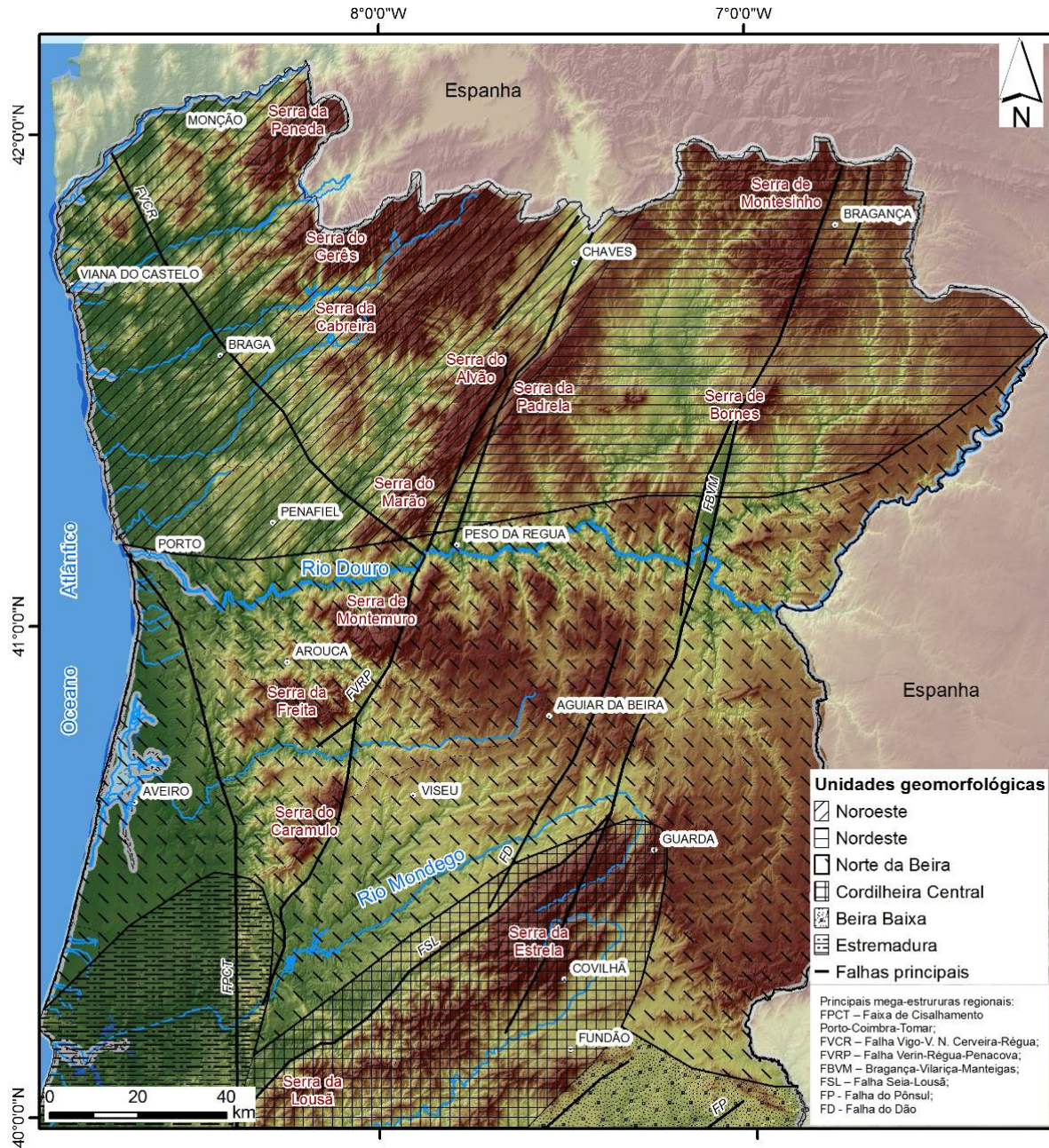


Figura 51 – Esboço das unidades geomorfológicas regionais, a Norte da Figueira da Foz (adaptado de Feio & Daveau, 2004).

A evolução geotectónica do substrato ante-Varisco do ME, imposta pela orogenia Alpina com a reactivação das falhas tardi-Variscas, está na origem dos actuais traços morfoestruturais da área compreendida, *grosso modo*, entre os rios Douro e Mondego, designada por Norte da Beira. Assim, destacam-se duas importantes megaestruturas, com orientação geral NNE-SSW, a saber: a falha de Verin–Régua–Penacova e a falha de Bragança–Vilarça–Manteigas. Estes acidentes têm rejogado até ao presente, registando actividade sismotectónica (e.g., Freire de Andrade, 1937; Soares de Carvalho, 1992; Cabral,

---

1995; Baptista, 1998; Baptista et al., 1998; Rockwell et al., 2009), controlando os traços fundamentais da morfologia do Norte e Centro de Portugal, segmentando-o em três sectores: a superfície da Meseta, os planaltos centrais e as montanhas ocidentais (Brum Ferreira, 1978). O Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão e a faixa de cisalhamento de Vigo–Vila Nova de Cerveira–Régua são também lineamentos tectónicos de importância capital na mega-compartimentação da morfoestrutura do Norte e Centro de Portugal.

A superfície da Meseta corresponde a um nível de aplanamento bem conservado, sobretudo a oriente do rio Côa, e que se prolonga para território espanhol (Brum Ferreira, 1978), inclinando ligeiramente para Noroeste. A separar esta superfície aplanada dos planaltos centrais encontra-se um rebordo abrupto, de direcção NNE-SSW, correspondente à grande falha Bragança–Vilariça–Manteigas. Os planaltos centrais são dominados também por superfícies aplanadas, mas a diversas altitudes, formando uma série de superfícies de diversas idades. A rede de drenagem é também mais complexa, com os cursos de água a aproveitarem as fracturas impostas pela tectónica, drenando esta área quer em direcção ao Douro, quer em direcção a Oeste (Feio & Daveau, 2004). Mais para sul, encontra-se a plataforma do Mondego, que apresenta características aproximadas com as da Meseta, com a excepção de que inclina para Sudoeste.

A passagem dos planaltos centrais para as montanhas ocidentais corresponde,  *grosso modo*, ao alinhamento da falha Verín–Régua–Penacova, mas esta não é tão marcada como na passagem da Meseta para os Planaltos Centrais. Nas montanhas ocidentais (*e.g.*, Serras de Montemuro, da Gralheira e do Caramulo) o relevo é ainda mais movimentado, os níveis de aplanamento são exíguos e mal conservados, e a rede hidrográfica apresenta um forte poder encaixante, dissecando as superfícies de aplanamento, e gerando vertentes abruptas (Brum Ferreira, 1978; Feio & Daveau, 2004).

A Cordilheira Central corresponde ao maior conjunto de serras existente no país, individualizando-se pela sua continuidade e imponência. Faz parte de um conjunto mais amplo, que se estende para Espanha, num comprimento total de mais de 450 km, designado por Cordilheira Central Ibérica (Feio & Daveau, 2004). No território português apresenta uma direcção geral NE-SW, correspondendo ao conjunto das Serras da Estrela, do Açor, da Lousã e da Gardunha. No sector mais a NE da Serra da Estrela, junto da Guarda, a largura da serra não ultrapassa os 15 km, enquanto que nas serras de xisto, da Lousã e Açor, a largura desta megaestrutura atinge cerca de 50 km, apresentando, no seu topo, uma série de superfícies de aplanamento relativamente bem conservadas. É também uma das poucas áreas do país onde se encontram vestígios deixados pela glaciação, suscitando, por isso, o interesse no seu estudo geomorfológico desde, pelo menos, 1881, data da *expedição científica à Serra da Estrela organizada pela Sociedade de Geografia de*



---

*Lisboa* (Daveau, 1981). Recentemente, foram dadas à estampa uma série de teses de investigação, em diversas áreas, sobre a Serra da Estrela: morfogénese glaciária e periglaciária (Vieira, 2004), climatologia (Mora, 2006) e hidrogeologia de áreas montanhosas (Espinha Marques, 2007).

Ainda no domínio das unidades geomorfológicas, merece referência a extensa área aplanada, a Sul da Cordilheira Central, designada geralmente por Cova da Beira, que O. Ribeiro (Ribeiro, 1949a) refere *“não é mais do que um dos vários alvéolos tectónicos que marginam a Cordilheira Central, afeiçoado por um nível geral com uma perfeição que a depressão tectónica favoreceu”*. É uma área que se estende ao longo da Ribeira da Meimosa e alarga-se num amplo anfiteatro sobre o rio Zêzere, sendo limitada por este e pelos contrafortes da Serra da Gardunha (Ribeiro, 1949b; Thadeu, 1949).

As características da rede hidrográfica estão ligadas, fundamentalmente, à natureza das rochas, dos acidentes tectónicos e dos tipos de clima. Assim, os cursos de água do Norte e Centro de Portugal instalaram-se ao longo de zonas de fractura crustais, com traçados por vezes praticamente rectilíneos e perpendiculares à Culminação Ibérica Principal, ao longo de três direcções preferenciais (Feio & Daveau, 2004): E-W, NE-SW e NNE-SSW (figura 52). A rede hidrográfica desta região é, em geral, mais densa que no Sul do país, e os rios, devido às maiores quantidades de precipitação aqui registadas, apresentam, em geral, maiores caudais.

As bacias hidrográficas dos grandes rios internacionais (figura 52 e figura 53), Minho, Douro e Tejo, que cobrem a maior parte da área do Norte e Centro de Portugal (com especial destaque para a bacia do rio Douro) estão sob jurisdição administrativa directa do INAG (Instituto Nacional da Água), enquanto que as bacias hidrográficas dos rios cujo traçado se desenvolve apenas em território nacional são da responsabilidade das ARH (Administração de Região Hidrográfica) do Norte e Centro (INAG, 2002).

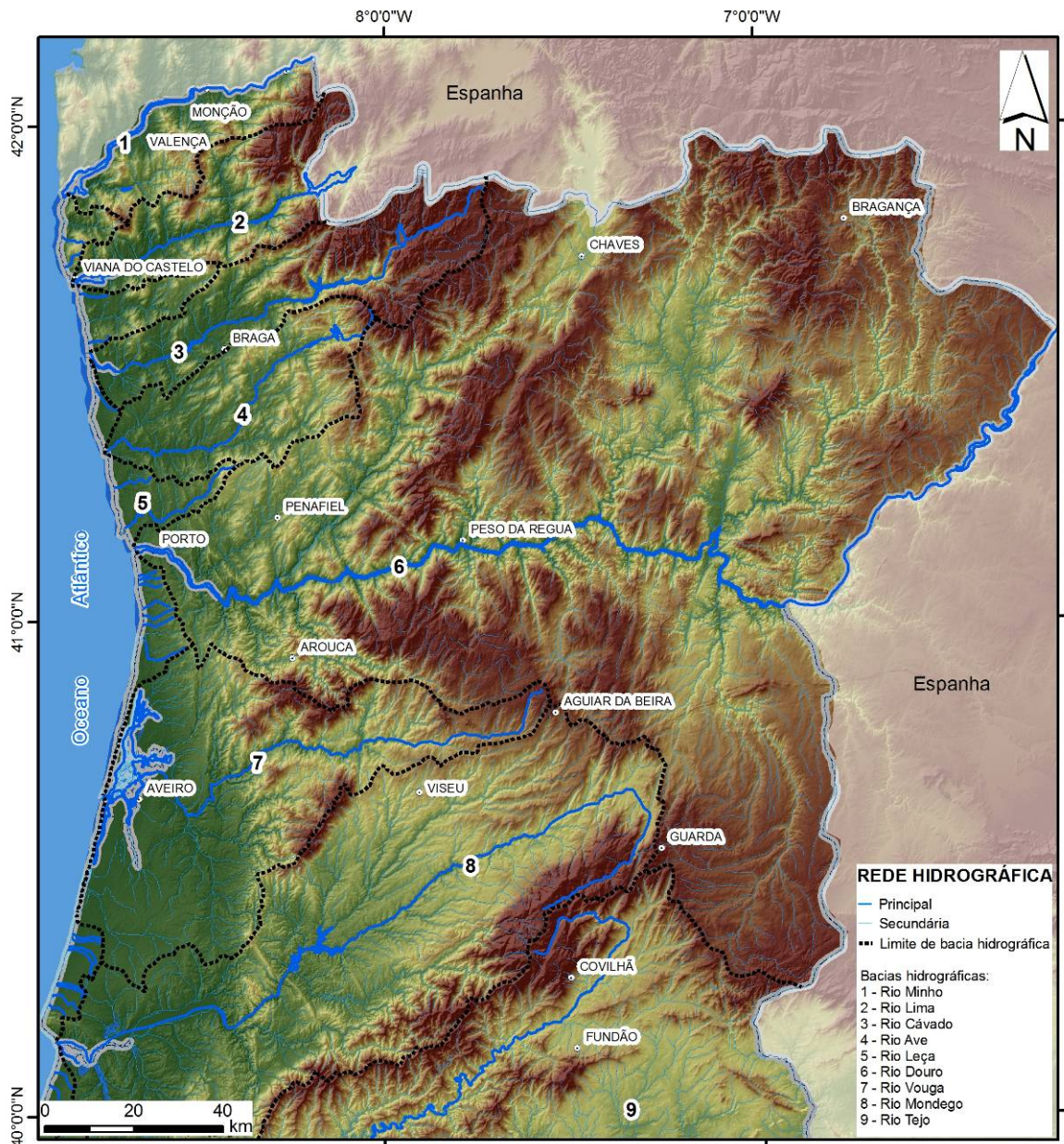


Figura 52 – Rede hidrográfica e principais bacias hidrográficas das regiões Norte e Centro de Portugal (Adaptado de I. Ambiente, 1991/92; INAG, 2002).

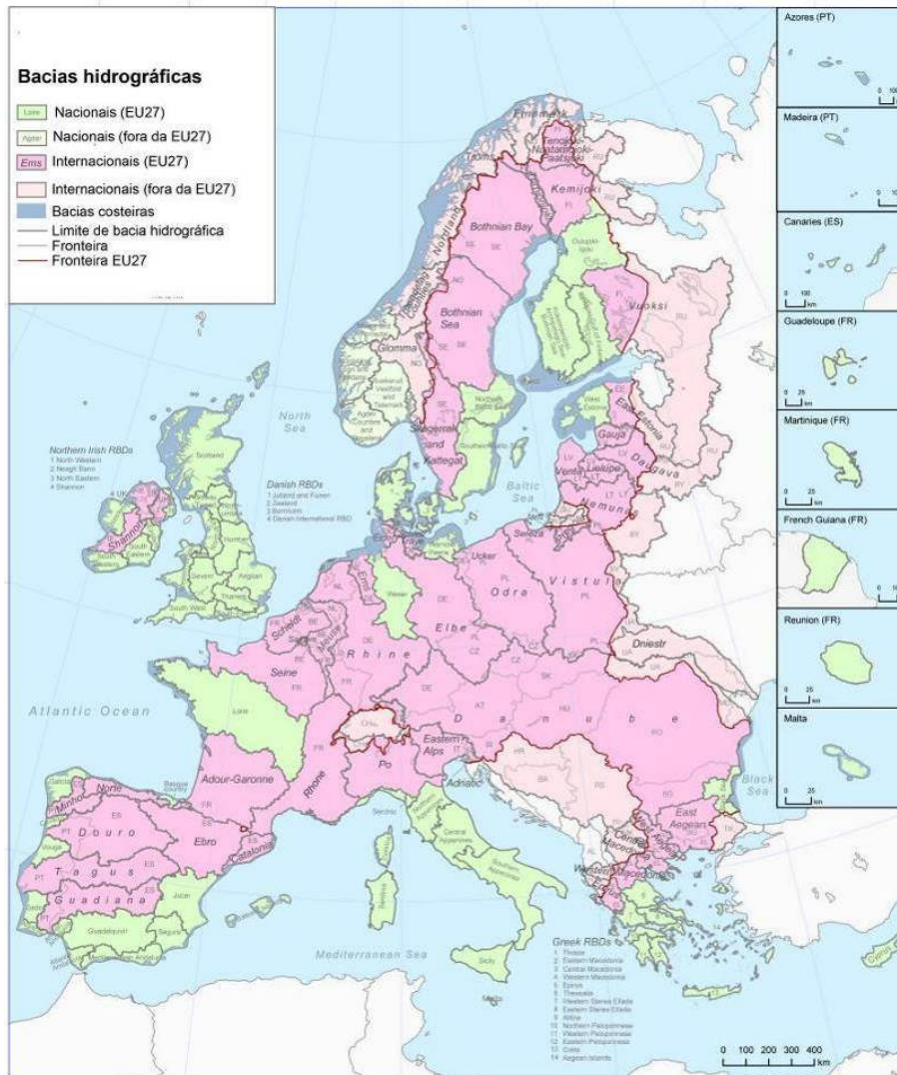
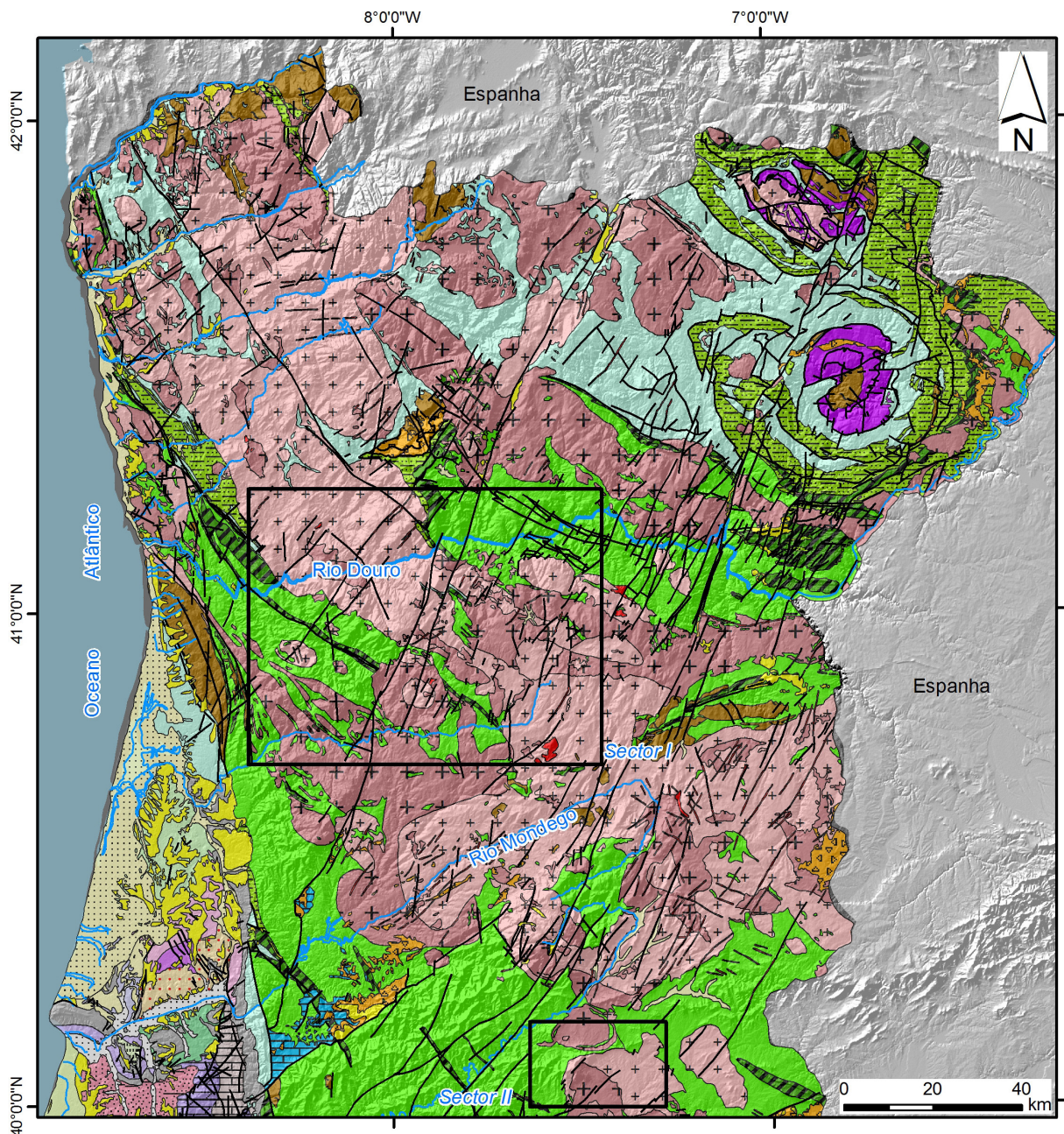


Figura 53 – Enquadramento das bacias hidrográficas nacionais e internacionais, na União Europeia (adaptado de Comissão Europeia, 2007).

#### 4.5. Quadro hidrogeológico

Para a caracterização hidrogeológica, seguimos de perto a cartografia de síntese apresentada por Carvalho (2006) e Carvalho et al. (2007), da qual se adaptou o esboço da carta hidrogeológica do Norte e Centro de Portugal, apresentada na Figura 54, onde se apresenta um ensaio de integração do conhecimento existente sobre as características hidrodinâmicas das litologias do Maciço Antigo, da recarga, da produtividade das obras de captação e das unidades hidrogeológicas regionais, realçando que foram prevalentes os critérios litológicos e, também, as estruturas geológicas regionais associadas. Foram ainda revisitados os trabalhos de Carvalho et al. (2000; 2003) onde se apresentam alguns dados cartográficos hidrogeológicos relevantes.



**Formações de cobertura**

- 1
- 2
- Falhas

**Orla Sedimentar Ocidental e Bacia Terciária do Tejo**

- O1
- O2
- O3
- O4
- O5
- O6
- O7
- O8
- O9
- O10
- O11
- O29
- O30
- O31
- O1

**Maciço Antigo**

- MA3
- MA4
- MA5
- MA6
- MA7
- MA8
- MA9
- MA10
- MA11
- MA12
- MA13

Figura 54 - Esboço de unidades hidrogeológicas do Norte e Centro de Portugal (Adaptado de INAG, 1997; Carvalho, 2006; Carvalho & Chaminé, 2007), com indicação dos dois sectores de estudo desta dissertação.

Consultar legenda na página seguinte.

Unidades Hidrogeológicas Regionais / Sistemas aquíferos	Código	Tipo de escoamento			Transmissividade T(m <sup>2</sup> /dia)	Risco geológico de insucesso (IMC*, m/L/s)				Caudal de exploração por captação (L/s)**					
		meio poroso	meio cársico	meio fissurado		IMC > 120	80 < IMC < 120	40 < IMC < 80	IMC < 40	Q < 1	1 < Q < 2	2 < Q < 5	5 < Q < 10	10 < Q < 20	20 < Q
Ora Sedimentar Cêntrica e Basal Terciária do Tejo (Adaptado de INAG, 2004)	Aluviões e/ou eluviões; areias de dunas; depósitos sedimentares detriticos geralmente pouco consolidados	1	x						x		x	x	x	x	
	Terraços flúvio-marinhos e conglomeráticos: depósitos sedimentares detriticos pouco consolidados	2	x						x		x				
	Quaternário de Aveiro: Terraços fluviais e praias antigas (Pliocénico), depósitos da base do Quaternário, dunas e aluviões (Quaternário)	O1	x			50 - 400				x					x
	Cretácico de Aveiro: Arenitos de Carrascal (Aptiano/Albiano), Calcários Apinhoados da Costa de Arnes (Cenomaniano/Turoniano), Arenitos Micáceos e Arenitos Grosseiros Superiores (Senoniano)	O2	x			340				x					x
	Cársico da Bairrada: Camadas de Coimbra (Sinemuriano-Lotaringiano), Calcários margosos de Leme (Domeriano médio-superior)	O3		x		16 - 600				x			x		
	Ançã - Cantanhede: Calcários de Ançã e Calcários de Andorinha (Jurássico médio)	O4		x		5 - 350	x				x				
	Tentugal: Arenitos de Carrascal (Aptiano-Cenomaniano), Calcários de Tentugal (Cenomaniano-Turoniano inferior), Grés de Furadouro (Cenomaniano superior-Turoniano)	O5	x		x	1 - 400	x			x					
	Aluviões do Mondego: Aluviões (Recente)	O6	x			1470				x					x
	Figueira da Foz - Gesteira: Arenitos de Carrascal (Aptiano-Cenomaniano), Calcários Apinhoados da Costa de Arnes (Cenomaniano-Turoniano inferior)	O7	x	x		108				x					x
	Verride: Calcários e margas (Dogger)	O8		x		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Penela - Tomar: Dolomitos, calcários e calcários dolomíticos (Liásico)	O9		x		1 - 850		x			x				
	Leirosa - Monte Real: Complexo arenoso (Plio-Plistocénico), dunas e areias de duna (Recente)	O10	x			370 - 740				x					x
	Sicó - Alveizere: Calcários e dolomitos (Batoniano e Bajociano)	O11		x		4 - 570				x			x		
Louçã: Arenitos de Carrascal, Calcários Apinhoados da Costa de Arnes, Arenitos Finos de Lousões (Cretácico sup.); Formações do Miocénico e Paleogénico indiferenciados; Depósitos Plio-quaternários	O29	x			86 - 1000				x					x	
Vão - Quenidas: Arenitos de Carrascal (Aptiano-Cenomaniano), Calcários de Tentugal, Grés de Furadouro, Grés de Oia (Cretácico sup.)	O30	x			45				x				x		
Condeixa - Alfaietes: Arenitos Finos de Lousões, Calcários Apinhoados da Costa de Arnes (Cretácico sup.); Arenitos de Carrascal (Cretácico inf.)	O31	x			78			x				x			
Sistemas hidrogeológicos não caracterizados	OI	x		x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Mação Antigo (Adaptado de Carvalho 2006)	Aluviões e/ou eluviões; areias de dunas; depósitos sedimentares detriticos geralmente pouco consolidados	1	x						x		x	x	x	x	
	Terraços flúvio-marinhos e conglomeráticos: depósitos sedimentares detriticos pouco consolidados	2	x						x		x				
	Depósitos arcóscicos: Depósitos sedimentares detriticos geralmente consolidados	MA3	x		x				x		x				
	Grés e calcários	MA4	x		x				-	-	-	-	-	-	
	Metapelitos e psamitos avermelhados, vulcanitos básicos e ácidos, complexo filado-quartzoso, quartzitos	MA5			x	3		x			x		x		
	Quartzito-filitos, filádios, xistos carbonosos com intercalações de ampolitos e lídios, complexo gres-quartzítico, argilitos e conglomerados	MA6			x	3		x		x			x		
	Quartzitos maciços, quartzitos xistóides e xistos ardósiferos intercalados	MA7			x	4		x		x			x		
	Xistos, grauvaques, níveis metaconglomeráticos e complexo migmatítico-gnaissico	MA8			x	3		x		x			x		
	Granito de grão médio a grosseiro de duas micas, com esparsos megacrístais	MA9			x	1,7		x		x					
	Granito de grão médio a fino essencialmente biotítico	MA10			x	1,7		x		x					
	Gnaisses, migmatitos e granitos gnaissicos	MA11			x	1,7		x		x					
	Rochas básicas (peridotitos, rochas máficas, gabros e anfíbolitos: complexo ofiolítico s.l.)	MA12			x	-		x		x					
	Filões e massas (quartzito, pegmatito e apilito-pegmatítico)	MA13			x	-				x			x		

\* IMC [Índice Metros Caudal] numa dada área, comprimento total de metros realizados com um ou vários furos necessário para captar 1 L/s (Carvalho, 2006);  
\*\* caudal mediano de exploração

Figura 54 (Cont.) - Esboço de unidades hidrogeológicas do Norte e Centro de Portugal (Adaptado de INAG, 1997; Carvalho, 2006; Carvalho & Chaminé, 2007).

(tal como referem os autores anteriores, as bases geológicas/hidrogeológicas utilizadas na síntese cartográfica foram as seguintes: Carta Geológica de Portugal, escalas 1/500.000 (4ª e 5ª edição), 1/200.000 (folhas 1 e 2); Carta Hidrogeológica de Portugal, escala 1/200.000; bem como foi consultada uma série de cartografia inédita ou não publicada em relatórios de projecto/estágio de final de licenciatura, de teses de mestrado e de doutoramento (UP, UA, UM, UTAD, UC, UL, UBI,...), relatórios de projectos de investigação ou empresariais e outros documentos cartográficos. Gostaríamos de agradecer a disponibilidade manifestada por imensos colegas na partilha de informação ou por terem facultado acesso aos arquivos (digital ou biblioteca) das suas instituições, quer ao signatário quer aos orientadores desta dissertação, dos quais destacamos, nomeadamente, além dos orientadores (o Professor H.I. Chaminé e o Professor F. Rocha) e do Professor J. Martins Carvalho, o Professor J. Espinha Marques, a Professora M.J. Afonso, o Professor A. Gomes, a Professora L. Soares, o Professor A. Pereira, o Professor L.C. Gama Pereira, o Professor M. Marques da Silva, o Professor A. Simões Cortez, a Dr.ª Y. Pedrosa, o Dr. A. Cruz, a Dr.ª N. Plasencia, o Professor J. Marques, o Professor P. E. Fonseca, a Professora R. Carvalho, o Professor L. Ferreira Gomes, o Professor P. Gabriel de Almeida e a Professora R. Pereira, entre outros).

---

Na síntese cartográfica da figura 54 não se apresentam os dados hidroquímicos, tratados e analisados por vários autores para as rochas cristalinas (e.g., Afonso, 1997; Alencão, 1998; Marques, 1999; Pereira, 1999; Calado, 2001; Lima, 2001, Abrunhosa, 1988; Espinha Marques, 2007), uma vez que, tal como enfatiza Carvalho (2006), o quimismo raramente condiciona o uso da água subterrânea, ressalvando no entanto que as rochas metassedimentares apresentam, em geral, maior mineralização que as rochas graníticas. Carvalho (2006) refere ainda que não foi possível, com as investigações realizadas, e com base no estado do conhecimento hidrogeológico regional, definir novos aquíferos, para além daqueles que são referidos por Almeida et al. (2000). Em locais específicos e muito restritos, como seja a Veiga de Chaves, a Bacia de Sendim, Nave de Haver, Idanha e as aluviões dos grandes rios, foram identificados aquíferos bem definidos, maioritariamente porosos, geralmente com ligação hidráulica à rede hidrográfica superficial. Em geral, nas rochas cristalinas do Maciço antigo, ocorrem sistemas hidrogeológicos descontínuos, de dimensões mais ou menos reduzidas, em que a continuidade espacial do reservatório e do fluxo são reduzidas, não se podendo falar, nesses casos em verdadeiros aquíferos (Carvalho, 2006). As unidades hidrogeológicas do Maciço Antigo apresentadas, podem ser agrupadas em quatro mega-unidades hidrogeológicas regionais, herdadas directamente das grandes unidades geológicas (Carvalho, 2006): (i) depósitos de cobertura (s.l.); (ii) rochas metassedimentares; (iii) rochas granitóides; e, (iv) rochas básicas e ultrabásicas. A produtividade hídrica subterrânea das rochas do Maciço Antigo, a nível local, é altamente controlada pela tectónica à escala do afloramento (Carvalho et al., 2003) e menos pela tectónica regional, embora, também condicionada por esta. As águas minerais no sentido geológico (i.e., de ciclo longo, e de circulação profunda) são muito condicionadas directamente pela mega-fracturação (Carvalho, 1996; Marques et al., 2003; Carvalho & Chaminé, 2004) e pelo quadro geológico estrutural e morfotectónico local. Porém, a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo não é, de todo, tarefa fácil, dadas as suas características hidrogeológicas (Carvalho et al., 2003). As primeiras abordagens ao tema (*Moitinho de Almeida, 1970; Paradela, 1975; Gonçalves Henriques, 1985*), apontam valores conservadores, sempre inferiores a 50 m<sup>3</sup>/dia/km<sup>2</sup> (i.e., inferior a 0,61 L/s/km<sup>2</sup>). Mais recentemente, vários trabalhos foram dados à estampa (e.g., Abrunhosa, 1988; Oliveira, 1995; Afonso, 1997; Alencão, 1998; Pedrosa, 1998; Pedrosa, 1999; Pereira, 1999; Lima, 2001; Afonso, 2003), assentando em técnicas hidrometeorológicas, tais como balanços hídricos diários ou mensais, de balanços de cloretos e análise de hidrogramas, cujos resultados foram, em geral, expressos em termos de taxa de infiltração, apresentando uma dispersão elevada, variando entre 1 e 30%. Outros estudos (Carvalho et al., 2000; Carvalho et al., 2003), através da análise sistemática de hidrogramas nas bacias dos rios Douro, Lima, Cávado, Ave e Leça, com a aplicação do método de Castany-Berkalof (*cf. Castany & Berkaloff, 1970*), com controlo de caudais em

---

vários locais dentro destas bacias, apontam um valor médio representativo da taxa de infiltração para o Maciço Antigo de 17% da precipitação média anual. No entanto, outros estudos conduziram, para a mesma área, a valores máximos de 6%, com a aplicação do método de Temez (Hidrorumo, 2000). Estes últimos valores devem ser tidos em conta, sobretudo em alturas de seca, tendo em conta a baixa função capacitiva dos reservatórios (Carvalho et al., 2000).

Assim, a estas taxas e tendo em conta os valores médios de precipitação anual nas áreas consideradas, as produtividades seriam de 80 a 255 m<sup>3</sup>/dia/km<sup>2</sup> (i.e., 1 a 3 L/s/km<sup>2</sup>, Carvalho et al., 2003), valores estes que são ligeiramente mais baixos que os apresentados por Pedrosa (1998; 1999). Os valores referidos, a sazonalidade da precipitação, a baixa capacidade de ingestão das formações do Maciço Antigo, e as variações laterais do próprio reservatório, bem como a escala a que estas ocorrem, levam a que seja extremamente difícil, para a escala considerada, a definição das unidades hidrogeológicas com base em critérios de produtividade, pelo que, no mapa apresentado anteriormente, e tal como foi referido, privilegiados os critérios litológicos e o quadro geoestrutural associado.

#### **4.6. Ocorrência de recursos hidrominerais no NW Peninsular**

Águas minerais são, na óptica do especialista das águas subterrâneas, as que, por qualquer especificidade físico-química, se distinguem das águas “normais” de uma dada região (Moret, 1946; Schoeller, 1982; Albu et al., 1997; LaMoreaux, 2001; Carvalho, 2006). A definição de *água mineral* não é, de todo, consensual; as várias definições comumente usadas assentam geralmente num de dois critérios (Carvalho, 2006): num estritamente geológico e hidrogeoquímico ou num utilitarista, pois enfatiza o fim para que é usada a água. Do ponto de vista estritamente geológico, designa-se por água mineral uma água cuja mineralização total, ou alguns dos seus componentes, excede o que se pode considerar normal para águas subterrâneas (Calado, 1995): mineralização total > 1000 mg/L; total de dióxido de carbono livre > 1000 mg/L; sulfuração total > 1 mg/L; flúor > 2 mg/L; lítio > 1 mg/L; estrôncio > 10 mg/L; bromo > 5 mg/L; iodo > 1 mg/L; ferro > 10 mg/L; manganês > 10 mg/L; bário > 5 mg/L; sílica > 50 mg/L, etc. Ao nível das Ciências da Terra, geralmente, designa-se por *termal* toda a água cuja temperatura de emergência excede 20°C; no entanto, muitos investigadores preferem indexar o limite à temperatura média anual do ar da região da ocorrência, considerando termal quando este é ultrapassado. Para White, 1957 são termais as águas que excedem a temperatura média do ar em 5°C ou mais; para Schoeller, 1962 as que excedem em mais de 4°C. Nos casos em que uma água seja, simultaneamente, termal e mineral designa-se por *termomineral* e *acrototermal* se for *termal* mas com um total de substâncias dissolvidas insignificante (Calado, 1995).

---

Quando se designa por *água mineral* devido à utilidade, o uso pode ser (Carvalho, 2006): *medicinal*, com fins terapêuticos, ou *industrial*, se serve como matéria-prima para extração de substâncias úteis contidas na água (sais, gases, etc.). No entanto, não deve ser esquecido o sentido hedonista da aproximação latina ao conceito de água mineral. Estas são águas a que a tradição popular e a prática do Termalismo Médico atribuem virtudes terapêuticas (Carvalho, 2006). É, sobretudo, com base neste valor de uso que a maior parte dos países fixa a definição de água mineral para efeitos jurídico-administrativos.

A composição química de uma água subterrânea é a assinatura de um longo processo hidrogeoquímico de interação com a rocha por onde esta circulou desde a infiltração até à emergência, ao longo de um período de tempo que pode chegar a milhares de anos (Calado, 1995). Ao nível da Hidrologia Médica, é corrente chamar-se *água termal* a qualquer uma, ainda que fria na origem ou mesmo semelhante às águas típicas da região, desde que seja utilizada em balneários termais (Pomerol & Ricour, 1992), gerando ainda maior confusão em relação à terminologia sobre este tema (Carvalho et al., 2007).

A exploração de águas minerais, quer no termalismo quer na indústria de engarrafamento, reveste-se hoje de considerável importância sócio-económica, sobretudo, o termalismo (figura 55). As estâncias termais constituem pólos de animação económica local, graças aos fluxos turísticos que originam. Em Portugal continental há, actualmente, 55 concessões de água mineral em actividade (dados DGEG, 2009): 47 exclusivamente em termalismo; 8 exclusivamente para engarrafamento; e 8 em termalismo e engarrafamento, simultaneamente. As características físico-químicas destas águas são muito importantes, constituindo um factor a ter em conta na escolha do estabelecimento termal a frequentar, uma vez que os médicos hidrologistas afirmam estarem as propriedades terapêuticas das águas minerais intimamente relacionadas com essas características. No sentido geológico, em Portugal Continental, existem 10 concessões consideradas termais pois a sua mineralização total é superior a 1000 mg/L.

Na região Norte e Centro de Portugal, a litologia, estrutura e a história geológica, as condições fisiográficas e o clima permitiram que a Natureza fizesse brotar do subsolo imensas e variadas nascentes de água cristalina (TERMARED, 2011). Percebidas, de forma mais ou menos aprofundada, as propriedades benéficas da água, desde cedo os diferentes povos que ocuparam o nosso território se dispuseram à realização de obras para o seu aproveitamento. Assim, as termas de Chaves surgem como um caso paradigmático. Com a sua temperatura de emergência de 73°C, bem como o reconhecimento das suas propriedades, levaram os romanos a construir numerosas termas nos locais onde a alta temperatura de emergência propiciava o aproveitamento para fins curativos ou simplesmente para a higiene dos cidadãos.

Os esforços de inventariação dos pontos de água, com características singulares no NW da Península Ibérica, vem, desde há séculos, ocupando uma série de investigadores, quer em



---

Portugal (e.g., Henriques, 1726; Acciaiuoli, 1952/53; D'Almeida & Almeida, 1970-1988; Carvalho, 1993; IGM, 1998; Calado, 2001; Carvalho, 2006; Carvalho & Chaminé, 2007; Bastos et al., 2008; Carvalho et al., 2009), quer em Espanha (e.g., Xunta de Galicia, 1995; IGME, 2001; TERMARED, 2011), cuja síntese se apresenta na figura 55, sobre a carta geológica da Península Ibérica (ITGE, 1994). Verifica-se que as principais nascentes minerais do Maciço Antigo localizam-se sobretudo em nós tectónicos geralmente situados em depressões geomorfológicas (e.g., Choffat, 1917; Freire de Andrade, 1937; Carvalho, 1996; Espinha Marques et al., 2001a; Carvalho et al., 2005a; Carvalho, 2006; Carvalho et al., 2009; Teixeira et al., 2009b; Teixeira et al., 2010a), nas proximidades de linhas de água permanentes ou semi-permanentes.

A ocorrência de nascentes e captações de água mineral natural nas situações topográficas atrás citadas implica, geralmente, que coexistam, dois ou mesmo três tipos de circulação hídrica subterrânea no local, frequentemente em ligação hidráulica entre si e com a linha de água mais próxima, a saber (Carvalho, 2006):

(i) por um lado, uma circulação de águas minerais de origem mais ou menos profunda. Trata-se de circulação em terrenos de permeabilidade fissural, a que corresponde menor risco de poluição que nas formações superficiais. A esta circulação podem estar adstritas águas “normais” nas mesmas formações, a menor ou maior profundidade, por vezes interferindo com as minerais;

(ii) por outro lado, uma circulação de águas normais, ao longo de depósitos detríticos com permeabilidade intersticial dominante mas sem grande capacidade de auto-depuração (aluviões, eluviões, coluviões e rocha decomposta).

Como foi referido, em Portugal continental, as nascentes mais significativas localizam-se em faixas tectonizadas, quer do Maciço Antigo, quer das Orlas Sedimentares, e em muitos desses casos, existem (ou existiram) estabelecimentos termais (Carvalho, 1996; Carvalho et al., 2005b; Carvalho et al., 2007; Rodrigues et al., 2010). Assim, foram identificadas em Portugal Continental 52 ocorrências com temperatura superior a 20°C. A temperatura mais elevada é medida em Chaves (73°C), havendo 17 nascentes com temperaturas superiores a 35°C (Aires-Barros & Marques, 2000; Carvalho et al., 2005b; Cabeças et al., 2010). Associadas à balneoterapia existiam, em 2008, 24 projectos em funcionamento com utilização dos recursos geotérmicos para aquecimento directo (e.g., Chaves, Monção, Gerês, Carvalhal, S. Pedro do Sul,... ; cf. Cabeças et al., 2010).

No ponto seguinte pretende-se demonstrar de que forma a cartografia, ao nível do inventário hidrogeológico, realizada com recurso às ferramentas SIG, poderá contribuir para o sucesso de projectos de carácter multidisciplinar em recursos hídricos subterrâneos. Os resultados aqui apresentados enquadram-se no âmbito do projecto INTERREG SUDOE IV-B, TERMARED (2009/2011) desenvolvido no LABCARGA|ISEP, no qual o signatário colaborou

como investigador, sob coordenação do Professor Helder Chaminé e do Professor J. Martins Carvalho. Serão apresentados os exemplos dos pólos do Angueiro (Messegães, Valadares) e da Azenha/Poço Quente (Granjão, Cidadelhe).

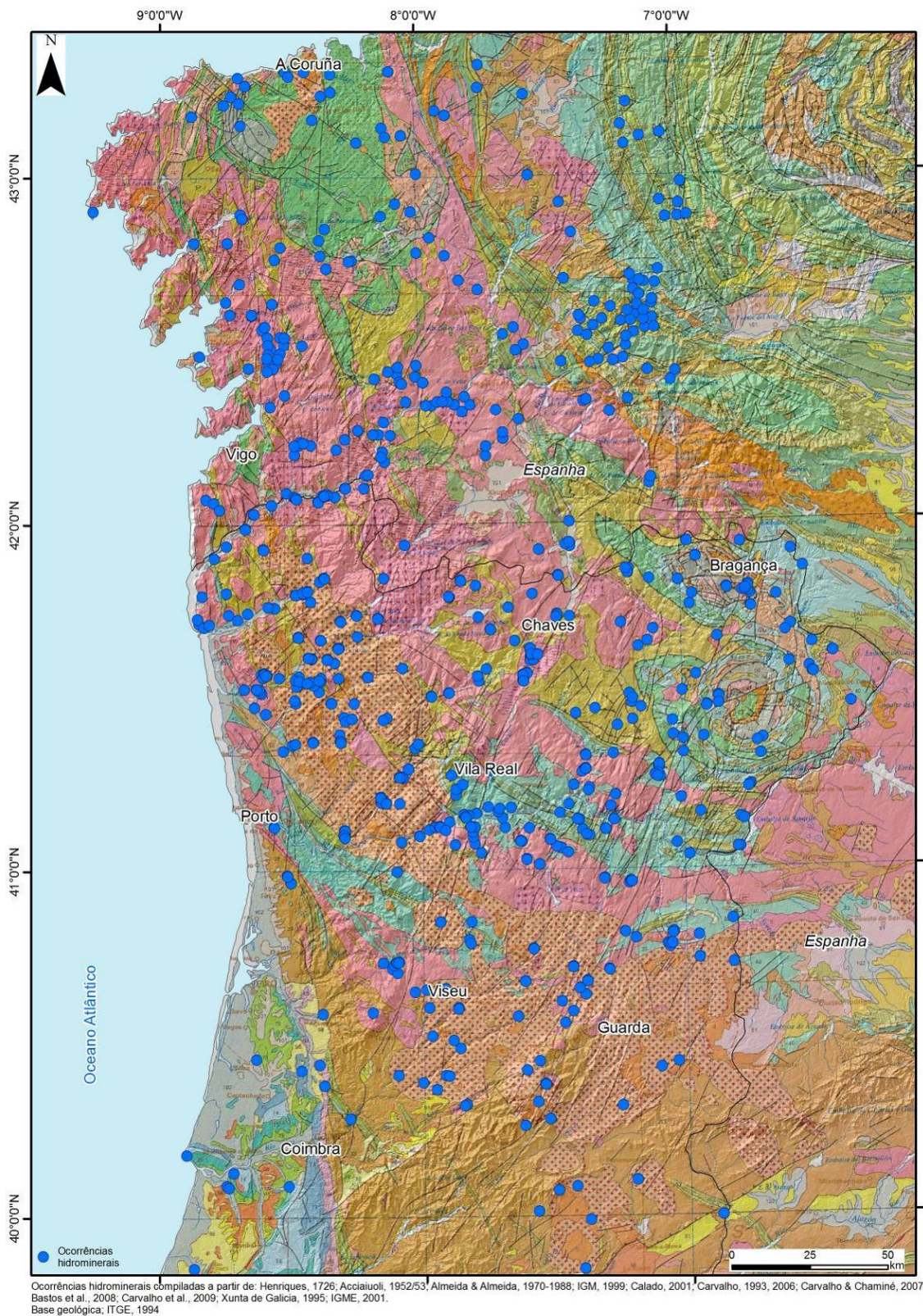


Figura 55 – Ocorrências hidrominerais no Noroeste Peninsular, para os territórios da Galiza e do Norte/Centro de Portugal: uma visão de conjunto de mais de 700 ocorrências hidrominerais (síntese e inventário no âmbito do projecto TERMARED (2009-2011), arquivo LABCARGA|ISEP).

---

#### **4.6.1. O projecto TERMARED**

O projecto TERMARED (Rede de Cooperação para o Desenvolvimento Termal no SUDOE) apoia a criação e desenvolvimento de uma rede temática de cooperação transnacional de carácter inter- e transdisciplinar orientada para produzir, partilhar e transferir inovação e conhecimentos no sector do turismo termal. Um dos objectivos principais do projecto foi a elaboração de um roteiro em formato de catálogo de águas termais, no Espaço SUDOE (Norte Portugal, Galiza e Aquitânia). Este catálogo inclui no território de Portugal além de outras informações de carácter histórico e turístico, dados relativos à localização e historial das nascentes seleccionadas, da climatologia, da geomorfologia, da geologia, da hidrogeologia e da hidroquímica. Um dos resultados obtidos com o projecto, para além do catálogo referido (TERMARED, 2011), foi a sua divulgação no V Congresso Nacional de Geomorfologia (Teixeira et al., 2010b).

A organização e sistematização do catálogo foram fortemente apoiadas por uma Base de Dados Geográfica (BDG), em ambiente SIG, criada para o efeito, a qual se reporta neste sub-capítulo (figura 56). Foram utilizadas inúmeras fontes bibliográficas (e.g., Henriques, 1726; Acciaiuoli, 1952/53; D'Almeida & Almeida, 1970-1988; Carvalho, 1993; IGM, 1998; Calado, 2001; Carvalho, 2006; Carvalho & Chaminé, 2007; Bastos et al., 2008; Carvalho et al., 2009) e desenvolvidos aturados reconhecimentos de campo. Foram ainda compilados, a partir da bibliografia disponível, os pontos de água relativos à região espanhola da Galiza (Xunta de Galicia, 1995; IGME, 2001).

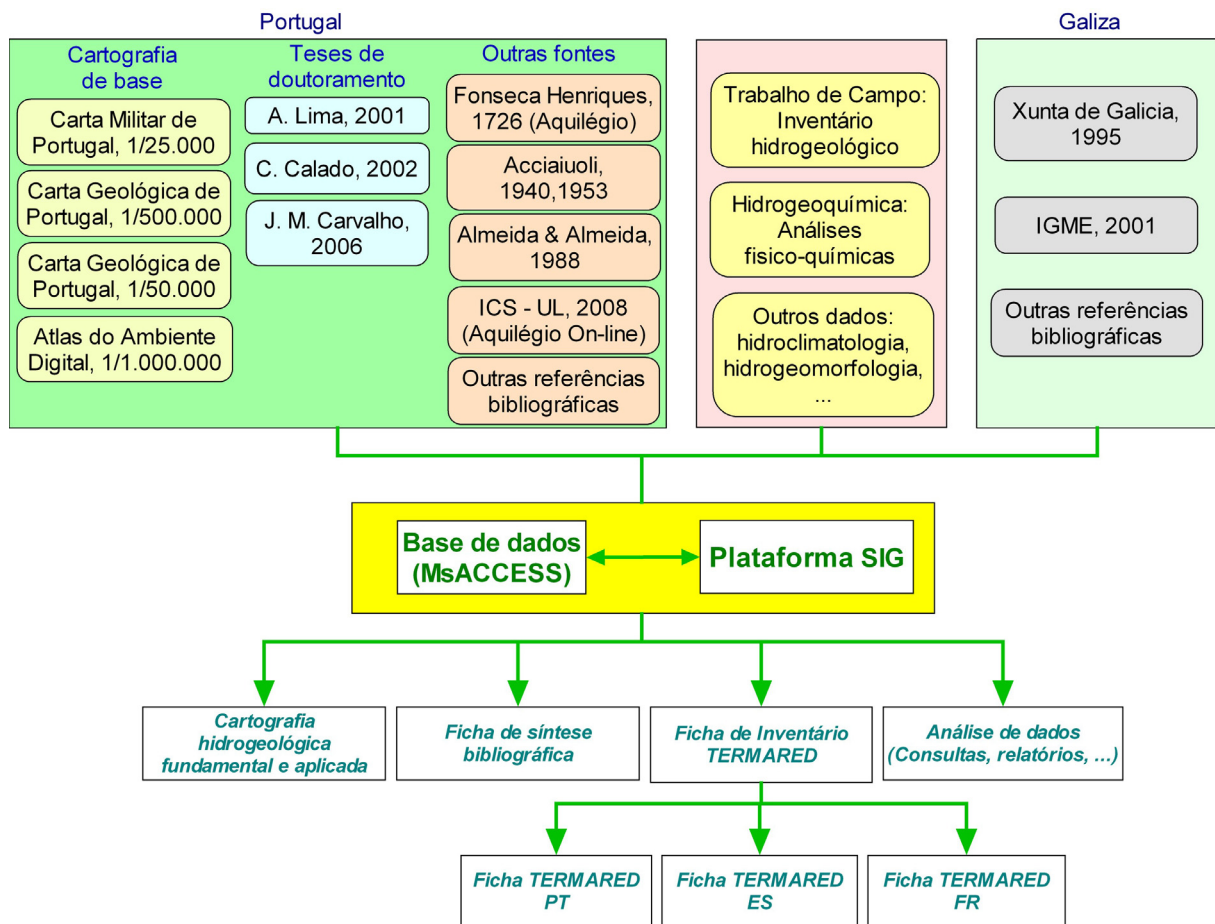


Figura 56 – Esquema metodológico de recolha e análise de dados relativos às nascentes termais do Norte de Portugal e da Galiza, desenvolvido no âmbito do projecto TERMARED.

A tarefa inicial consistiu no exaustivo trabalho de gabinete que visou a recolha e organização prévia de todos os dados relativos às ocorrências termais no Norte de Portugal. Nesta fase, os dados foram carregados numa base de dados espacial, que permitiu a criação e preenchimento automático de uma ficha bibliográfica para cada ponto inventariado (Figura 57). Foi ainda usada a ficha hidrogeológica de campo, referida no ponto 2.1.4, onde foram registados, aquando dos trabalhos de campo e visita aos pontos de água, a sua acessibilidade, as condições hidrogeológicas e hidroclimatológicas, os traços geomorfológicos e as condições de utilização. Esta ficha contemplou, ainda, o registo sistemático de vários parâmetros em cada ponto de água da amostragem realizada, a saber: temperatura (°C), pH, condutividade eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), caudal, entre outros, e ainda parâmetros do ar (humidade relativa, %, e temperatura, °C). Sempre que possível esta informação foi confrontada com os dados da bibliografia de referência, regional e local.

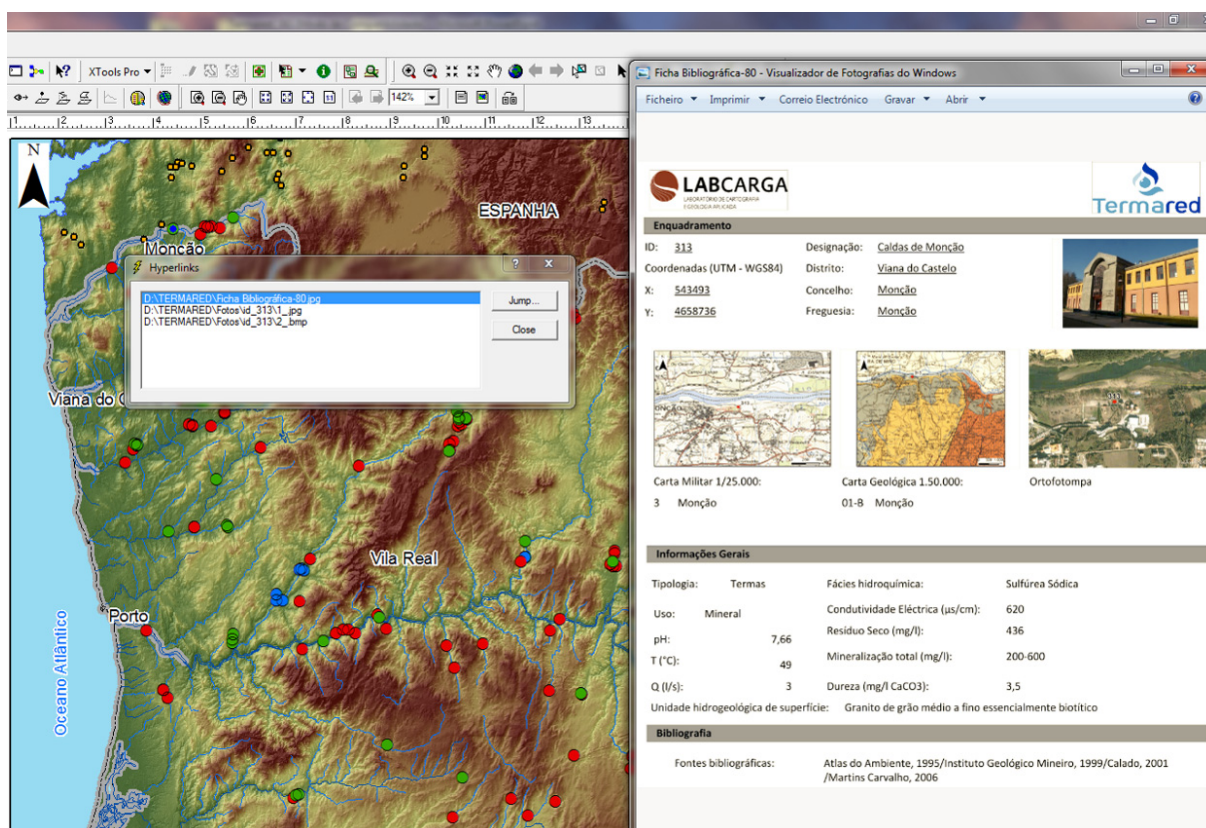


Figura 57 – Aspecto da plataforma SIG/Base de Dados Geográficos desenvolvida, com destaque para a ficha bibliográfica associada a cada ponto.

A recolha de dados efectuada permitiu identificar, na região Norte de Portugal, 346 pontos de água (Figura 58), passíveis de classificação como água mineral natural de acordo com a tradição portuguesa que associa o conceito de água termal (no sentido da hidrologia médica) a águas com propriedades terapêuticas (Calado, 2001; Carvalho, 2006). Foram ainda identificados e compilados, na região da Galiza, cerca de 250 pontos de água com características equivalentes. O inventário global totalizou mais de 590 pontos para as regiões do Norte de Portugal e Galiza. Todas as informações relativas a cada um destes pontos de água foram associadas à localização dos pontos georreferenciados, em tabelas no formato alfanumérico. Foram ainda criadas, na base SIG, hiperligações que permitem, de forma automática, aceder à ficha bibliográfica ou de campo de cada ponto.

A consulta exhaustiva da bibliografia e trabalhos de reconhecimento no campo permitiu a recolha de dados de caracterização passíveis de serem integrados numa Base de Dados Geográfica, os quais foram posteriormente integrados num SIG, dada a sua importante componente espacial. A inventariação efectuada no âmbito do TERMARED mostrou ainda a existência de vários Balneários Termais desactivados e de numerosas nascentes de comprovado ou suposto valor terapêutico. A distribuição dos pontos de água inventariados ocorre, de forma mais ou menos indiscriminada, em rochas granitóides ou metassedimentares. No entanto, são de destacar três áreas onde se concentram o maior

número de nascentes: a área litoral, nas bacias hidrográficas dos rios Cávado, Lima e Minho, no vale do rio Douro e os seus afluentes rios Tâmega, Tua e Sabor (com especial destaque para a área envolvente a Peso da Régua), bem como no Nordeste Transmontano, junto a Bragança.

Esta informação georreferenciada constituiu uma importante ferramenta de trabalho, nomeadamente no apoio ao trabalho de campo com recurso a ferramentas GPS, bem como na sistematização da imensa quantidade de dados recolhidos, o que permitiu uma primeira pré-selecção de pontos para a potencial inclusão no catálogo.

Assim, dos pontos pré-seleccionados e que foram alvo de reconhecimento de campo, foram escolhidos 12 locais, com base em critérios definidos, a saber: qualidade da água e caudal; localização dos pontos de água em Parques Naturais ou zonas protegidas; receptividade dos proprietários/entidades responsáveis; ocupação do solo e acessibilidades; património hidro-histórico construído.

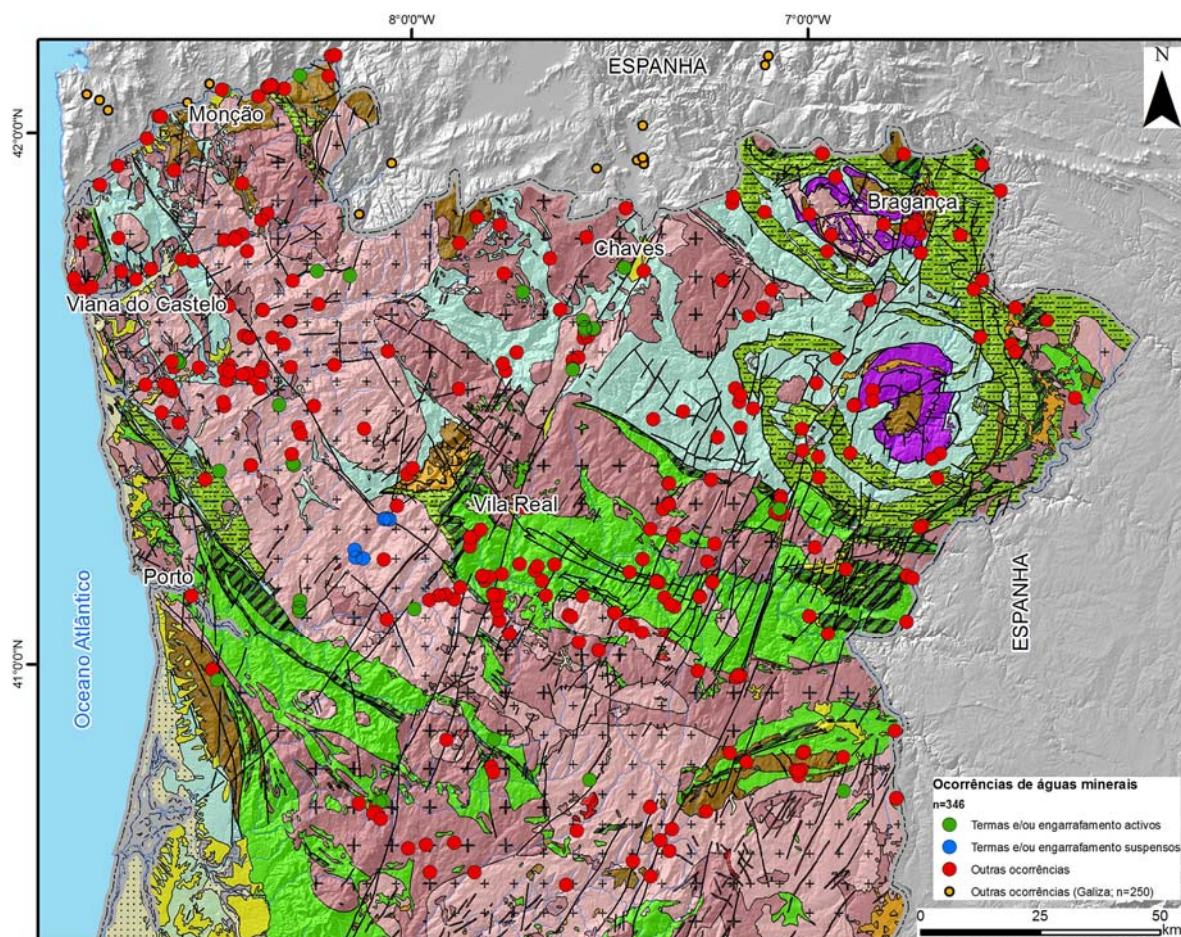


Figura 58 – Ocorrências de águas minerais nas regiões Norte e Centro de Portugal (segundo Carvalho et al., 2010 Teixeira et al., 2010b e TERMARED, 2011; base hidrogeológica adaptada de Carvalho, 2006, ver legenda na figura 54).

Em suma, a BDG criada permitiu assim sistematizar e analisar em tempo útil, um conjunto vasto de informação sobre os 346 pontos de água identificados no Norte de Portugal, contribuindo, de forma decisiva, para o sucesso global do projecto TERMARED. A sistematização da informação através da Base de Dados Espacial (BDE) revestiu-se de grande importância, provando ser uma ferramenta de tratamento e análise de informação de grande importância nos estudos hidrogeológicos. Seguidamente, apresentam-se dois exemplos de áreas de trabalho, no âmbito do projecto TERMARED, localizadas no vale do Rio Minho (Angueiro) e no vale do Rio Douro (Azenha/Poço Quente).

### **Pólo de Angueiro (Messegães, Valadares)**

A área entre Monção e Messegães é dominada por rochas granitóides (figura 59), predominando as rochas de grão médio a grosseiro (Ribeiro & Moreira, 1986; Moreira & Simões, 1988). A espessura do manto de alteração destas rochas, nesta área, não deverá ultrapassar os 10 a 20 m. As rochas metassedimentares surgem em pequenas manchas, sobretudo numa faixa alongada de direcção aproximada NNW – SSE que se estende para além da área do mapa apresentado, junto a Messegães, à qual parecem estar associadas as águas de fácies gasocarbónica (Hidrorumo, 1997).

Os depósitos aluvionares e terraços fluviais apresentam uma expressão importante, sendo por vezes usados em captações para o abastecimento público das povoações envolventes (Hidrorumo, 1997).

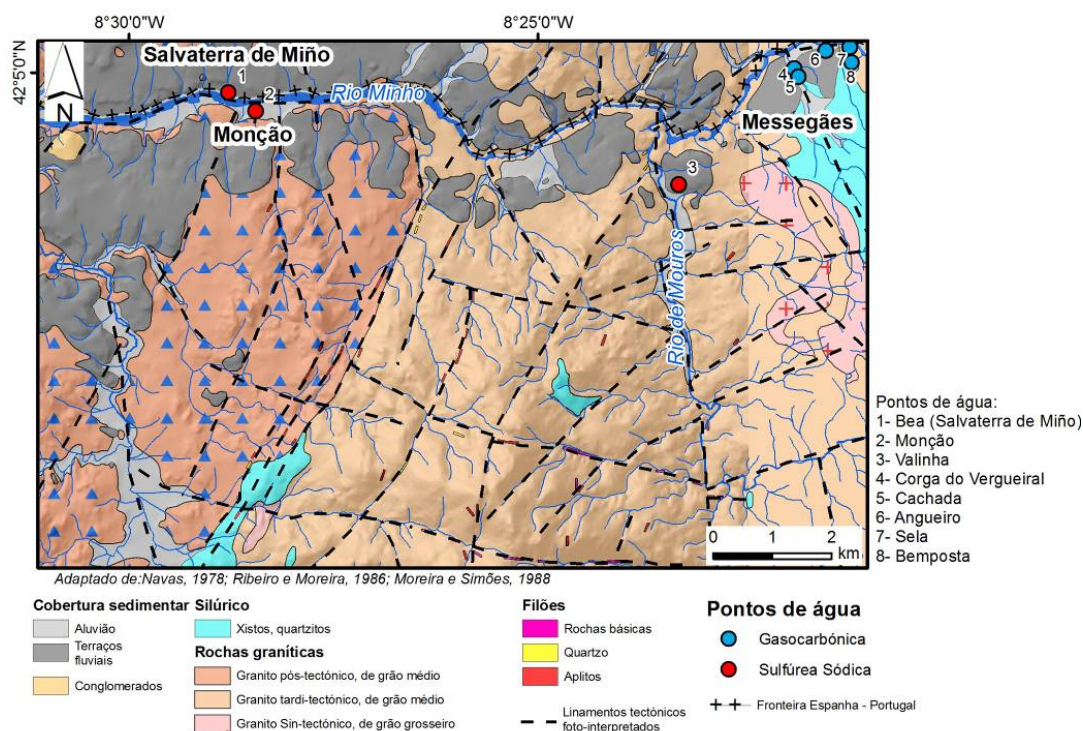


Figura 59 – Mapa geológico da área entre Monção e Messegães, com indicação dos locais das nascentes inventariadas.

---

No sector do Rio Minho, e nomeadamente na área entre Monção e Messegães, foram inventariadas 8 nascentes, das quais 3 são sulfúreas sódicas, e 5 são gasocarbónicas (figura 59).

Na figura 60 apresentam-se alguns aspectos de nascentes inventariadas na Região Norte, das quais se destaca o pólo do Angueiro, aqui apresentado. Na figura 61 apresenta-se um exemplo da ficha hidrogeológica de campo para a nascente do Angueiro.



*Nascente sulfúrea da Valinha*



*Furo ACP1 (Corga do Vergueiral)*



*Área envolvente da nascente do Angueiro*



*Nascente gasocarbónica do Angueiro*

Figura 60 – Aspectos de algumas das nascentes visitadas ao longo do trabalho de campo realizado no âmbito do Projecto TERMARED, na área do Rio Minho.




**Enquadramento**


Designação: Angueiro Distrito: Viana do Castelo

Coordenadas (UTM WGS84, 29N): X 552934 Y 4659887 Concelho: Monção

Freguesia: Valadares



*Planta de localização*



*Fotografia*

**Informações gerais**

Condições de acesso: Por caminho carreteiro, a 300 m de caminho municipal

Ocupação do espaço: Meio urbano  Terra de cultivo  Floresta  Zona protegida

Proprietário: António José Alves

**Geomorfologia**

Planalto  Encosta  Talvegue  Observações: \_\_\_\_\_

**Qualidade da água e caudal**

Data: 22-06-2010 Hora: 16:16:00

Cheiro: Inodoro Cor: Incolor Turbidez: Límpida

Outras observações: Plantas  Animais  Algas  Incrustações

Caudal (m<sup>3</sup>/h): 0,042 Medido com: garrafa de 2 l

Temp. Água (°C): 18,5 pH: 6,76 Cond. Elétrica (us/cm): 1370

Amostra para análise laboratorial: \_\_\_\_\_

**Utilização**

Consumo humano  Engarrafamento  Balneoterapia  Uso industrial

Animais  Uso agrícola  Lavadouro Público  Sem uso

**Estruturas de desenvolvimento**

Construção antiga  Construção recente  Observações: Observa-se precipitado ferruginoso.

Data: \_\_\_\_\_

**Furos**

Designação: \_\_\_\_\_ Profundidade (m): \_\_\_\_\_

Entubado  Tipo entubamento: \_\_\_\_\_

Equipado com Bomba: Sim  Não  Tipo: \_\_\_\_\_ Profundidade (m): \_\_\_\_\_

Tipo de caseta: \_\_\_\_\_

Observações: \_\_\_\_\_

Preenchido por: JT/PM/CR/RS Data: 22-06-2010

Figura 61 – Exemplo de ficha hidrogeológica de campo, relativa ao ponto de água do Angueiro.

---

Uma vez que o objectivo do projecto TERMARED era incluir no catálogo nascentes que não fossem actualmente exploradas, ou que tivessem impedimentos legais à sua livre utilização e eventual valorização, foram excluídas: as nascentes de Monção (em funcionamento), as nascentes de Corga do Vergueiral e Cachada (com área de concessão atribuída), bem como a nascente espanhola de Bea (localizada na área de actuação dos parceiros TERMARED galegos, Universidade de Vigo). A nascente sulfúrea da Valinha foi excluída também, após visita de campo, em que foi possível avaliar as suas acessibilidades (junto a um terreno agrícola, em geral fechado por gradeamento de ferro). Das restantes, foram confirmadas no campo, na presença de um dos coordenadores do projecto e profundo conhecedor da área (Prof. J. Martins Carvalho) as informações bibliográficas (Hidrorumo, 1997), que apontavam para uma submersão frequente da nascente de Sela pelo aumento do nível do Rio Minho, bem como para o desinteresse nas captações de Bemposta, que correspondiam a furos, inicialmente realizados pela Junta de Freguesia, para captação de água normal para abastecimento público.

Assim, foram realizados trabalhos de campo mais exaustivos na nascente do Angueiro, a qual se localiza junto ao Rio Minho, numa faixa protegida de Reserva Ecológica Nacional. Nesta nascente foi ainda realizada uma análise físico-química da água, para caracterização da sua fácies hidroquímica. O exemplo da ficha resultante, publicada no catálogo, é apresentado na figura 62.

# ANGUEIRO

## Características / Características / Caractéristiques

Nombre manantial/Nome da Nascente/Nom source	Angueiro
Caudal (l/s) / Caudal (l/s) / Débit (l/s)	0,012
Temperatura / Temperatura / Température	18,5°C
Tipo de aguas / Tipo de águas / Type d'eau	Con bicarbonato cálcico y gas carbónico / Bicarbonatada cálcica, gasocarbónica / Présence de bicarbonate de calcium et de gaz carbonique
Indicadores/Usos tradicionales / Indicações/Usos tradicionais / Indications/Utilisations traditionnelles	Aparato digestivo / Aparelho digestivo / Appareil digestif



## Localización / Localização / Localisation

Provincia / Distrito / Province	Vila do Castelo	Vila/Lugar / Vila/Localidade / Ville/Lieu	Valadares
Coordenadas UTM (29N) / Coordenadas UTM (29N) / Coördonnées UTM (29N)	X: 552934 Y: 4659887	Ayuntamiento / Concelho / Municipalité	Monção
Teléfono / Telefone / Téléphone	+351 251 531 931	Fax / Fax / Fax	+351 251 531 931
Correo electrónico / E-mail / Mél	-	Página web / Página web / Site web	www.vj-valadares.com

## Fuentes consultadas / Fontes consultadas / Autres données non incluses

Accaiaui, L.M.C. 1952/53. Le Portugal hydrominéral. Direction Générale des Mines et des Services Géologiques. 2 volumes. Lisbonne. (I volume, 1952, 284 pp.; II volume, 1953, 574 pp.).  
 D'Almeida, A. & Almeida, J.D. 1970-1988. Inventário hidrologico de Portugal. Instituto de Hidrologia de Lisboa. 3 volumes. Lisboa. (I volume Trás-os-Montes e Alto Douro, 1970, 639 pp.; II volume Beira Alta, 1975, 525 pp.; III volume Beira Ligeira, 1988, 505 pp.).

## Recursos / Recursos / Ressources

Recursos naturales / Recursos naturais / Ressources naturelles					
Parque Nacional / Parque Nacional / Parc National	Peneda-Gerês				
Reserva de la Biosfera / Reserva da Biosfera / Réserve de la Biosphère	Peneda-Gerês				
Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) / Sitio de Importancia Comunitaria (SIC) / Lieu d'importance communautaire (LIC)	Rio Minho				
Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) / Zona de Especial Protecção de Aves (ZEPAA) / Zone importante pour la conservation des oiseaux (ZICO)	Peneda-Gerês				
Contexto patrimonial/arqueológico / Contexto patrimonial/arqueológico / Contexte patrimonial/archéologique					
Restos/evidencias arqueológicas en el lugar del manantial / Evidências arqueológicas junto a nascente / Vestiges archéologiques sur le site de la source	No constan restos arqueológicos junto a la fuente / Não são conhecidas evidências arqueológicas junto à nascente / Pas de vestige archéologique à proximité de la source.				
Vacimientos arqueológicos en el entorno / Vestígios arqueológicos nas proximidades / Sites archéologiques à proximité	Castro de São Caetano - Longos Vales / Castro de São Caetano - Longos Vales / Castro - de São Caetano - Longos Vales, Igreja de Valadares, Castelo de Monção, Palácio da Bragança, Castro de São Caetano / Igreja de Valadares, Castelo de Monção, Palácio da Bragança, Castro - de São Caetano.				
Lugares de interés en las proximidades / Lugares de interesse nas proximidades / Centres d'intérêt à proximité					
Fuentes consultadas / Fontes consultadas / Sources consultées					
http://maps.google.com/	http://www.igespar.pt	http://www.cm-morcao.pt/	http://www.vj-valadares.com/	http://portal.icrb.pt/	http://www.turismodeportugal.pt
Turismo do Porto e Norte de Portugal:	http://www.maisportugal.com/	http://www.liccooler.com/			

## Ficha hidrogeológica / Ficha hidrogeológica / Fiche hydrogéologique

Accesibilidad / Acessibilidade / Acessibilité: Por camino para carros, a 300 m de camino municipal / Por caminho para carros, a 300 m de caminho municipal / Par un chemin pour voitures, à 300 mètres du chemin municipal

Entorno / Ambiente / Entorno / Ambiente / Entorno / Ambiente: Urbano / Urbano / Urbain, Zona cultivada / Zona de cultivo / Zone cultivée, Paisagem / Paisagem / Paysage, Zona protegida / Zona protegida / Zone protégée

Geomorfología / Geomorfologia / Géomorphologie: Ladera / Ladeira / Colline, Vagueda / Vagueda / Talweg

Calidad del agua y caudal / Qualidade da água e caudal / Qualité l'eau et le débit: Fecha / Data / Date: 22-06-2010, Hora / Hora / Heure: 10:16:00

Otros / Outros / Autres: Observaciones / Observações / Observations: Turbidez / Turbidez / Turbidité: Limpieza / Limpieza / Cléire

Plantas / Plantas / Plantes: Animales / Animais / Animaux, Algas / Algas / Algues, Invertebrados / Invertebrados / Invertébrés

Caudal (m³/s) / Caudal (m³/s) / Débit (m³/s): 0,042, Medio con flujido con / Meio com fluxo com / Boîte de 2 l / Boîte de 2 l / Boîte de 2 l

Temperatura del agua (°C) / Temperatura da água (°C) / Température de l'eau (°C): 18,5, pH: 6,26

Conductividad eléctrica (µS/cm) / Condutividade elétrica (µS/cm) / Conductivité électrique (µS/cm): 1,370

Muestra para análisis de laboratorio / Amostra para análise laboratorial / Echantillon pour analyse

Utilización / Utilização / Utilisation: Consumo humano / Consumo humano / Consommation humaine, Embotellado / Embotellado / Embouteillage, Balneario / Balneario / Baignoires, Uso industrial / Uso industrial / Industriel, Análisis / Análise / Analyse, Uso agrícola / Uso agrícola / Agricola, Lavadero Público / Lavatório Público / Public lavatory, Sin uso / Sem uso / Aucune

Estructuras de desarrollo / Estruturas de desenvolvimento / Structures de captage: Manantial / Nascente / Source, Fuente / Fonte / Source anterior, Red / Rede / Réseau, Ducha / Ducha / Douches, Construcción antigua / Construção antiga / Construction ancienne, Construcción reciente / Construção recente / Construction récente, Observaciones / Observações / Observations: Se observa precipitado ferruginoso / Se observa precipitado ferruginoso / On observe un précipité ferrugineux

Fecha / Data / Date: / /

Orificios / Furos / Captage: Designación / Designação / Désignation: Profundidad (m) / Profundidade (m) / Profondeur (m), Entubado / Entubado / Tubé, Tipo entubado / Tipo de entubamento / Type de tubage de ce forage, Equipado con bomba / Equipado com bomba / Equipé avec pompe, Tipo / Tipo / Type: Profundidad / Profundidade / Profondeur (m)

Tipo de caso de protección / Tipo de caso de proteção / Type de mission de protection: Observaciones / Observações / Observations:

Elaborado por / Elaborado por / Elaboré par: LASCARADEP, Fecha / Data / Date: 22-06-2010



## Análisis aguas / Análise da água / Analyse de l'eau

Análisis organoléptico / Análise organoléptica / Analyse organoleptique

Sabor / Sabor / Sabor: Insipido / Insipido / Insipide, Color / Cor / Couleur: Incoloro / Incoloro / Incolore

Olor / Olor / Odeur: Inodoro / Inodoro / Inodore

Propiedades fisicoquímicas / Propriedades fisicoquímicas / Déterminations physico-chimiques: Temperatura / Temperatura / Température: 18,5°C, Conductividad a 25°C / Condutividade a 25°C / Conductivité a 25°C: 776 µS cm<sup>-1</sup>, pH a temperatura del manantial / pH à temperatura de emergência / pH à température de la source: 6,26

Turbidez / Turbidez / Turbidité: 1,5 UN, Residuo seco a 180°C / Resíduo seco a 180°C / Resíduo seco a 180°C: 420 mg/l, Residuo seco a 110°C / Resíduo seco a 110°C / Resíduo seco a 110°C: - mg/l

Sustancias disueltas / Substâncias dissolvidas / Détermination chimique:

Aniones / Ânions / Anions	Cationes / Cátions / Cations		
	mg/l	meq/l	%Eq/l
Cl <sup>-</sup>	<10	<0,28	-
F <sup>-</sup>	0,8	0,04	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	140	2,20	-
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-	-	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<10	<0,16	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13	0,27	-
Ca <sup>2+</sup>	102	4,44	-
Mg <sup>2+</sup>	-	-	-
Na <sup>+</sup>	137	6,84	-
K <sup>+</sup>	3,41	0,28	-
Fe total	0,54	0,02	-

Otras sustancias de interés / Outras substâncias de interesse / Autres déterminations:

	mg/l
SO <sub>4</sub>	36
Na	-
Ca	-
Ag	-
Ba	-
Bromatos / Bromatos / Bromates	-
Bromatos / Bromatos / Bromates	-

Gases disueltos / Gases dissolvidos / Gaz dissous:

	mg/l
CO <sub>2</sub>	1,265
SH <sub>2</sub>	-

Propiedades derivadas / Propriedades derivadas / Propriétés dérivées: Dureza / Dureza / Dureté: 242 mg/l CaCO<sub>3</sub>, Alcalinidad / Alcalinidade / Alcalinité: 420 mg/l CaCO<sub>3</sub>

Clasificación / Classificação / Classification: Por su temperatura / Pela temperatura / Température: Ordinal / Ordinal / Ordinal, Por su mineralización / Pela mineralização / Mineralisation: Mineralizada débil / Fraca mineralização / Faible mineralisation, Por su composición / Pela composição / Composition: Presencia de gas carbónico / Gasocarbónica / Présence de gaz carbonique

Por su dureza / Pela dureza / Dureté: Dura / Dura / Dure

Elaborado por / Elaborado por / Elaboré par: LASCARADEP, Fecha / Data / Date: Noviembre de 2010 / Novembro de 2010 / Novembro 2010

Figura 62 – Exemplo da ficha produzida para a nascente do Angueiro (publicada em TERMARED, 2011)

---

### ***Azenha/Poço Quente (Granjão, Cidadelhe)***

Na região envolvente à nascente da Azenha/Poço Quente (figura 63) ocorrem, fundamentalmente, rochas metassedimentares de idade Câmbria inferior enquadradas no “Complexo Xisto-Grauváquico” (Teixeira et al., 1967; Bernardo de Sousa, 1982, 1983; Moreira et al., 2010).

As rochas metassedimentares constam de metapelitos que apresentam, localmente, cor cinzenta clara a escura, alternando com níveis metapsamíticos esbranquiçados, exibindo o conjunto, um aspecto listrado. Foram também reconhecidos níveis de rochas calcossilicatadas. A unidade metapelítica apresenta-se, em regra, como um conjunto muito homogéneo, monótono, e exibe um foliação muito acentuada. Ocorre ainda um afloramento granítico que se entende pelo vale da ribeira da Seromenha (próximo da localidade de Cidadelhe), ao longo de ca. 1500m, com uma largura que chega a atingir os 200m (Espinha Marques et al., 2001a; 2001b; 2003a; 2003b). O granitóide é de grão médio a fino, moscovítico e com turmalina. Esta fácies apresenta características petrográficas similares às descritas para os granitos de Valdigem (Teixeira et al., 1967) e de Favaios (Bernardo de Sousa & Sequeira, 1989). O granitóide de Cidadelhe encontra-se associado especialmente a alinhamentos tectónicos de orientação geral NNE-SSW e WNW-ESE. O contacto com o encaixante metassedimentar é tectónico. Ocorrem, ainda, neste sector, numerosos filões e massas aplitopegmatíticas e pegmatíticas, instaladas em zonas de fractura na unidade metassedimentar (Pereira, 2008).

Na área de trabalho apresentada na figura 63 foram identificadas 7 nascentes minerais, referenciadas em diversos trabalhos da especialidade (e.g., Henriques, 1726; Acciaiuoli, 1952/53; D’Almeida & Almeida, 1970-1988; Carvalho, 1993; IGM, 1998; Calado, 2001; Carvalho, 2006; Carvalho & Chaminé, 2007; Bastos et al., 2008; Carvalho et al., 2009). As águas da nascente do Poço Quente, bem como o sistema hidromineral das Caldas de Moledo foram pormenorizadamente descritas, entre outros, nos trabalhos de Espinha Marques et al. (2001b; 2003a; 2003b) e de Marques et al. (2003a).

Foram ainda identificadas várias nascentes e fontanários de águas normais. Alguns dos aspectos dos trabalhos de campo são apresentados na figura 64.

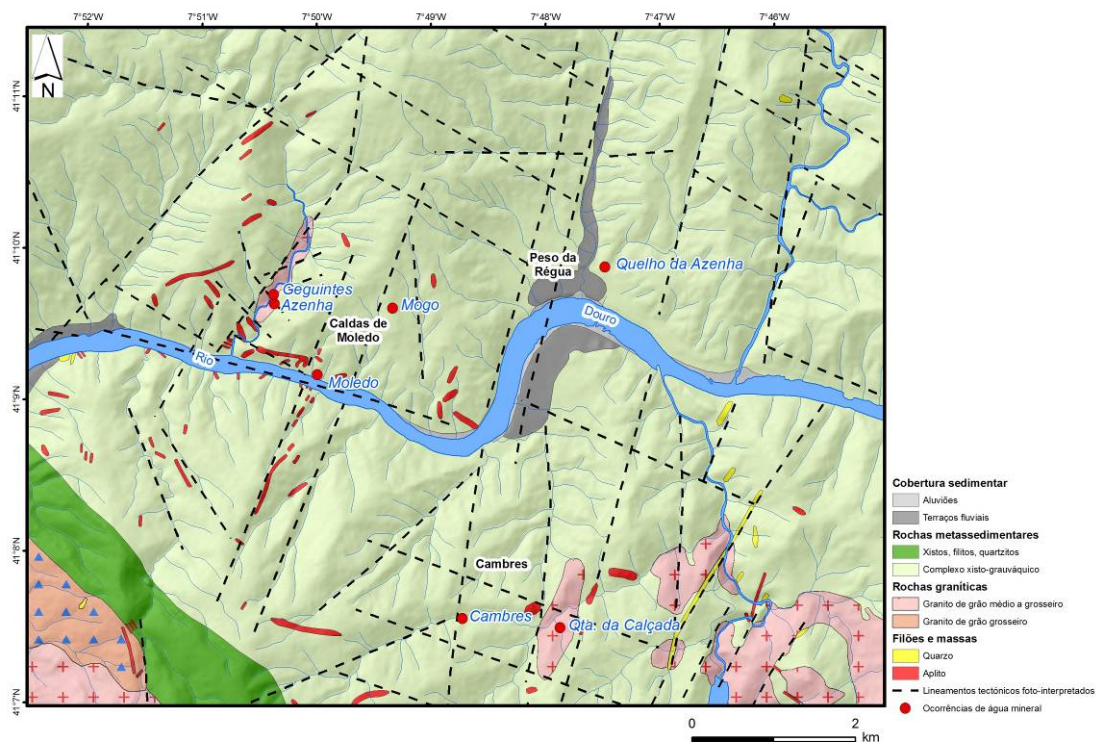


Figura 63 – Esboço geológico da área envolvente à nascente da Azenha/Poço Quente (adaptado de Teixeira et al., 1967 e Moreira et al., 2010).



Fontelas de Cima



Fonte de Brunhedo



Fonte do Granjão



Nascente da Azenha / Poço Quente

Figura 64 – Aspectos de algumas das nascentes visitadas ao longo do trabalho de campo realizado no âmbito do Projecto TERMARED, na área da Azenha/Poço Quente.


Na Figura 65 apresenta-se um exemplo da ficha hidrogeológica de campo relativa à nascente da Azenha/Poço Quente.

**Enquadramento**


Designação: Azenha / Poço Quente Distrito: Vila Real

Coordenadas (UTM WGS84, 29N): X 597049 Y 4557203 Concelho: Mesão Frio

Freguesia: Vila Marim



*Planta de localização*



*Fotografia*

**Informações gerais**

Condições de acesso: Por caminho pedonal, a 500 m de estrada municipal

Ocupação do espaço: Meio urbano  Terra de cultivo  Floresta  Zona protegida

Proprietário: Junta de Freguesia

**Geomorfologia**

Planalto  Encosta  Talvegue  Observações: \_\_\_\_\_

**Qualidade da água e caudal**

Data: 29-04-2010 Hora: 14:40:00

Cheiro: Sulfuroso Cor: Incolor Turbidez: Límpida

Outras observações: Plantas  Animais  Algas  Incrustações

Caudal (m3/h): ≈ 0,05 Medido com: Garrafa de 1 l

Temp. Água (°C): 23,8 pH: 6,6 Condutividade Elétrica (us/cm): 290

Amostra para análise laboratorial: \_\_\_\_\_

**Utilização**

Consumo humano  Engarrafamento  Balneoterapia  Uso industrial

Animais  Uso agrícola  Lavadouro Público  Sem uso

**Estruturas de desenvolvimento**

Nascente  Fonte  Poço  Furo

Construção antiga  Construção recente  Observações: Observa-se precipitado de baregina.

Data: \_\_\_\_\_

**Furos**

Designação: \_\_\_\_\_ Profundidade (m): \_\_\_\_\_

Entubado  Tipo entubamento: \_\_\_\_\_

Equipado com Bomba: Sim  Não  Tipo: \_\_\_\_\_ Profundidade (m): \_\_\_\_\_

Tipo de caseta: \_\_\_\_\_

Observações: \_\_\_\_\_

Elaborado por: LABCARGA|ISEP Data: 29-04-2010

Figura 65 - Exemplo de ficha hidrogeológica de campo, relativa ao ponto de água da Nascente da Azenha/Poço Quente.

---

À semelhança do pólo anteriormente apresentado, procurou-se, na área do Vale do Douro, um local passível de valorização, no âmbito do projecto TERMARED. Pela análise da figura 63, a região envolvente do Peso da Régua apresentava uma série de ocorrências muito próximas, pelo que esta área foi alvo de estudos mais detalhados.

Assim, verificou-se, em pormenor, quais as condicionantes à possível valorização de cada uma das ocorrências registadas nesta área. As ocorrências de Caldas de Moledo, de Cambres e da Quinta da Calçada encontram-se salvaguardadas por áreas de concessão. As ocorrências de Quelho da Azenha e de Mogo, apesar das referências históricas em D'Almeida & Almeida, 1970-1988, não são conhecidas actualmente pelas autoridades locais (juntas de freguesia), bem como pelos habitantes locais, pelo que não foi possível a visita e controlo hidrogeológico destes dois pontos.

A nascente de Geguintes encontrava-se, na altura dos trabalhos de campo, inacessível devido ao abandono dos terrenos agrícolas onde esta se localiza.

A nascente da Azenha (D'Almeida & Almeida, 1970-1988) ou do Poço Quente (Espinha Marques et al., 2001a; 2001b; 2003a; 2003b) apresenta um maior potencial de valorização, atendendo à sua localização e acessibilidades, enquadramento paisagístico e ambiental. Neste local foram realizados uma série de estudos complementares, nomeadamente de análises físico-químicas das águas, que se diferenciam claramente das águas da envolvente pela sua temperatura (23,8°C), bem como pelo seu odor sulfídrico. A ficha resultante, publicada no catálogo já referido, é apresentada na figura 66.

# AZENHA / POÇO QUENTE



## Características / Características / Caractéristiques

Nombre manantial / Nome da Nascente / Nom source	Azenha
Caudal (l/s) / Caudal (l/s) / Débit (l/s)	~0.05
Temperatura / Temperatura / Temperature	23.8°C
Tipo de aguas / Tipo de águas / Type d'eau	Con sulfuro de sodio / Sulfúrea Sódica / Présence de sulfure de sodium
Indicaciones/Usos tradicionales / Indicações/Usos tradicionais / Indications/Usos traditionnels	Enfermedades de la piel y reumatismo / Doenças de pele e reumatismo / Maladies de peau et rhumatisme

## Localización / Localização / Localisation

Provincia / Distrito / Province	Vila Real	Vila/Lugar / Vila/Localidade / Ville/Lieu	Vila Marim / Granjeio
Coordenadas UTM (29N) / Coordenadas UTM (29N) / Coördonnées UTM (29N)	X: 597049 Y: 4557203	Ayuntamiento / Concelho / Municipality	Mesão Frio
Teléfono / Telefone / Téléphone	-	Fax / Fax / Fax	-
Correo electrónico / E-mail / Mail	-	Página web / Página web / Site web	-

## Fuentes consultadas / Fontes consultadas / Autres données non incluses

Espirina Marques J., Marques J.M., Chamhe H.I., Gomes A., Fonseca P.E., Carvalho J.M., Graça R.C., Aires Barros L. & Borges F.S., 2003. *Nascente termal do Poco Quente (Granjeio-Caldas do Moledo, N de Portugal): morfoestrutura, geoquímica hidrogeológica.* Cadernos Laboratório Naxionico de Lave, A Coruña, Spain, 28: 147-172.

D'Almeida, A. & Almeida, J.D. 1970-1986. *Inventário hidrologico de Portugal.* Instituto de Hidrologia de Lisboa. 3 volumes. Lisboa. (I volume Trás-os-Montes e Alto Douro, 1970, 639 pp.; II volume Beira Alta, 1975, 525 pp.; III volume Minho, 1968, 505 pp.).

## Recursos / Recursos / Ressources

Recursos naturales / Recursos naturais / Ressources naturelles	
Parque Natural / Parque Natural / Parc National	Aivoã
Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) / Sítio de Importância Comunitária (SIC) / Lieu d'importance communautaire (LIC)	Aivoã/Marão
Paseo Marítimo o Fluvial / Passeio Marítimo ou Fluvial / Promenade Maritime ou Fluviale	Régua/Douro
Contexto patrimonial/arqueológico / Contexto patrimonial/arqueológico / Contexte patrimonial/archéologique	No constan restos arqueológicos junto a la fuente / Não são conhecidas evidências arqueológicas junto à nascente / Pas de vestige archéologique découvert près de la source.
Estado actual del manantial / Estado actual da nascente / Etat actuel de la source	El agua brota, con un caudal razonable, desde una enorme peña, en cerregales de cota superior a la aceña, en un calvarier; llega al río a través de una cascada. A água brota com razoável caudal de um enorme paredo, em lameros de cota superior à azenha, num meio de um calvarier, e condega para o rio por uma levada. L'eau coule avec un débit raisonnable d'un énorme rocher, traverse une tourbière en amont du moulin, puis une rosalière et atteint la rivière par une cascade.
Yacimientos arqueológicos en el entorno / Vestígios arqueológicos nas proximidades / Sites archéologiques à proximité	Castro de Cidadelhe - Cidadelhe
Lugares de interés en las proximidades / Lugares de interesse nas proximidades / Centres d'intérêt à proximité	Arcoz tumulares românicas, Castro de Cidadelhe, Hospital de la Misericórdia de Mesão Frio / Arcos Tumulares Romanicas, Castro de Cidadelhe, Hospital da Misericórdia de Mesão Frio / Sarcophages romans, « Castro » de Cidadelhe, Hospital de la Misericórdia de Mesão Frio.

## Ficha hidrogeológica / Ficha hidrogeológica / Fiche hydrogéologique

**Accesibilidad / Acessibilidade / Acessibilité:** Por camino peatonal, a 500 m de carretera municipal / Por caminho pedestre, a 500 m de estrada municipal / Por un sendero peatonal, a 500 m de la vía principal.

**Entorno / Ambiente / Environnement:** Urbano / Urbano / Urbain  Zona cultivada / Zona de cultivo / Zona cultivée   
 Forestal / Florestal / Forest  Zona protegida / Zona protegida / Zone protégée

**Propiedad / Proprietario / Proprietária:** Junta de Distrito / Junta de Freguesia / Junta de Distrito

**Geomorfología / Geomorphologie / Géomorphologie:**  
 Meseta / Planalto / Plateau  Ladera / Encosta / Côteau  Vaguada / Valeira / Talweg

**Observaciones / Observations / Observations:**

**Calidad del agua y caudal / Qualidade da água e caudal / Qualité l'eau et le débit:**  
 Fecha / Data / Date: 29-04-2010 Hora / Hora / Heure: 14:40:00

**Dir. / Direção / Direção:** Sulfuro / Sulfúrico / Sulfurée

**Color / Cor / Couleur:** Incoloro / Incoloro / Incolore

**Otras observaciones / Outras observações / Autres observations:** turbidez / turbidez / turbidité; Limpidez / Limpidez / Clarté

**Plantas / Plantas / Plantes:**  Anemais / Anemais / Anémox  Algas / Algas / Algues  Invertebrados / Invertebrados / Invertebrés

**Caudal (m³/h) / Caudal (m³/h) / Débit (m³/h) ~ 0.05 Medido con / Medido com / Mesuré avec: Botella de 1 l / Garrafa de 1 l / Bouteille de 1 l**

**Temperatura del agua (°C) / Temperatura da água (°C) / Temperature de l'eau (°C): 23.8 pH: 6.6**

**Conductividad eléctrica (µS/cm) / Condutividade elétrica (µS/cm) / Conductivité électrique (µS/cm): 290**

**Muestra para análisis de laboratorio / Amostra para análise laboratorial / Échantillon pour analyse: -**

**Utilización / Utilização / Utilisation:**  
 Consumo humano / Consumo humano / Consommation humaine  Embotellamiento / Engarrafamento / Embouteillage   
 Balneoterapia / Balneoterapia / Balnéothérapie  Uso industrial / Uso industrial / Industriel   
 Anemais / Anemais / Anémox  Uso agrícola / Uso agrícola / Agricolaire   
 Lavadero Público / Lavadero Público / Laveur public  Sin uso / Sem uso / Aucune

**Estructuras de desarrollo / Estruturas de desenvolvimento / Structures de captage:**  
 Manantial / Nascente / Source  Fuente / Fonte / Source enterrada  Pozo / Poço / Puit  Orificio / Furo / Puit partiel   
 Construcción antigua / Construção antiga / Construction ancienne  Construcción reciente / Construção recente / Construction récente   
 Observaciones / Observações / Observations: se observa precipitación de biogénos / observa-se precipitação de biogénos / on observe une précipitation de "biogénos"

**Fecha / Data / Date: - / - / -**

**Orificios / Furos / Captage:**  
 Designación / Designação / Désignation: Profundidad (m) / Profundidade (m) / Profondeur (m):  
 Entubado / Entubado / Tubé: Si  No  Tipo entubado / Tipo do entubamento / Type de tubage ou de revêtement:  
 Equipado con bomba / Equipado com bomba / Equipé avec pompe: Si  No   
 Tipo / Tipo / Type: Profundidad / Profundidade / Profondeur (m):  
 Tipo de casa de protección / Tipo de caixa de proteção / Type de maison de protection: -

**Observaciones / Observações / Observations:**

Elaborado por / Elaborado por / Elaboré por: LABARASEP Fecha / Data / Date: 29-04-2010

## Análisis aguas / Análise da água / Analyse de l'eau

**Análisis organoléptico / Análise organoléptica / Analyse organoleptique:**  
 Sabor / Sabor / Sauer: Insípida / Insípida / Insipide Color / Cor / Couleur: Incoloro / Incoloro / Incolore  
 Olor / Oloro / Odeur: Inodora / Inodora / Inodore

**Propiedades fisicoquímicas / Propriedades fisicoquímicas / Déterminations physico-chimiques:**  
 Temperatura / Temperatura / Temperature: 23.8°C Conductividad a 25°C / Condutividade a 25°C / Conductivité à 25°C: 282 µS cm<sup>-1</sup>  
 pH a temperatura del manantial / pH à temperatura de emergência / pH à temperature de la source: 6.6  
 Turbidez / Turvação / Turbidité: 0.4 UNT Residuo seco a 180°C / Resíduo seco a 180°C / Resíduo sec à 180°C: 218.4 mg/l  
 Residuo seco a 110°C / Resíduo seco a 110°C / Resíduo sec à 110°C: - mg/l

**Sustancias disueltas / Substâncias dissolvidas / Détermination chimique:**

Aniones / Ânions / Anions	mg/l	mEq/l	%Eq/l	Cationes / Cátions / Cations	mg/l	mEq/l	%Eq/l
Cl	21.8	0.61	-	Na	42	1.83	-
F	6.2	0.33	-	K	2.8	0.07	-
NO <sub>3</sub>	73	1.2	-	Li	-	-	-
CO <sub>3</sub>	-	-	-	Ca	15	0.75	-
NO <sub>2</sub>	4.6	0.07	-	Mg	4.2	0.35	-
SO <sub>4</sub>	-	-	-	Si	-	-	-
SO <sub>3</sub>	47	0.98	-	Total	<0.05	0	-

**Otras sustancias de interés / Outras substâncias de interesse / Autres déterminations:**

	mg/l		mg/l
SiO <sub>2</sub>	41.6	Se	-
Mn	-	Cd	-
Zn	-	Ag	-
Ba	-	Bi	-
Cianuros / Cianetos / Cyanures	-	Bromatos / Bromatos / Bromates	-
		Bromatos / Bromatos / Bromates	-

**Gases disueltos / Gases dissolvidos / Gaz dissous:**  
 CO<sub>2</sub>: 39.8 mg/l SH: 0 mg/l

**Propiedades derivadas / Propriedades derivadas / Propriétés dérivées:**  
 Dureza / Dureza / Dureté: 530 mg/l Ca Alcalinidad / Alcalinidade / Alcalinité: 60 mg/l CO<sub>3</sub> Ca

**Clasificación / Classificação / Classification:**  
 Por su temperatura / Pela temperatura / Temperature: Hipertermal / Hipertermal / Hyperthermale  
 Por su mineralización / Pela mineralização / Mineralisation: Mineralización débil / Fracamente Mineralizada / Faible mineralisation  
 Por su composición / Pela composição / Composition: Con bicarbonato de sodio / Bicarbonatada Sódica / Présence de bicarbonate de sodium  
 Por su dureza / Pela dureza / Dureté: Extremadamente Dura / Extremadamente Dura / Extrêmement dure  
Realizado por / Realizado por / Réalisé par: LABARASEP Fecha / Data / Date: Novembro de 2010 / Novembro de 2010 / Novembro de 2010



Figura 66 – Exemplo da ficha produzida para a nascente da Azenha/Poço Quente (publicada em TERMARED, 2011).



---

**5. Hidrogeomorfologia e Recursos Hídricos: estudo de sectores-chave no Maciço Antigo**



---

## 5. Hidrogeomorfologia e Recursos Hídricos: estudo de sectores-chave no Maciço Antigo

### 5.1. Considerações iniciais

Tal como foi referido, há uma quantidade significativa de rochas cristalinas com permeabilidade primária muito baixa a baixa, mas que podem adquirir permeabilidade secundária (Freeze & Cherry, 1979; Custodio & Llamas, 2001) em função, principalmente, do seu grau de alteração meteórica e do grau de fracturação. Na literatura hidrogeológica internacional anglo-saxónica (e.g., Larsson, 1984; Fetter, 2001; Krásný & Sharp, 2007; Scesi & Gattinoni, 2009; Ballukraya & Kalimuthu, 2010; Singhal & Gupta, 2010), são designadas como *rochas fracturadas/fissuradas* (“fractured/fissured rocks”) ou *rochas duras* (“hard rocks”). A parte superficial dos aquíferos das rochas fracturadas corresponderá ao intervalo, apontado pela maioria dos autores, entre os 0 – 90 m de profundidade. Porém, as profundidades mais típicas da coluna de alteração em profundidade estão entre 3 e 30 m (e.g., Davis & Turk, 1964; Lattman & Parizek, 1964; Yin & Brook, 1992; Banks et al., 1996; Taylor & Howard, 1998; 1999a, 1999b; 2000; Lachassagne et al., 2001; Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho et al., 2005a; 2007; Neves & Morales, 2007a; 2007b; Fernandes, 2008; Banks et al., 2009; Courtois et al., 2009; Lachassagne et al., 2011). Em rochas cristalinas fracturadas, os caudais sustentáveis extraídos dos furos que se revelam produtivos neste tipo de aquíferos são relativamente baixos, com valores a variarem desde  $100\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$  até  $10\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  (Wright & Burgess, 1992).

No caso dos recursos hidrominerais em rochas cristalinas, a sua existência e localização está, frequentemente, relacionada com sistemas hidrogeológicos condicionados pelos constrangimentos geotectónicos e morfoestruturais. A presença de estruturas tectónicas origina circuitos preferenciais de circulação subterrânea, tais como falhas, fracturas, fissuras, diáclases (e.g., Banks et al., 1996; Ingebritsen & Sanford, 1998; Ingebritsen & Manning, 1999; Bitzer et al., 2001; Krásný, 2002; Rojstaczer et al., 2008; Ingebritsen & Manning, 2010). Uma potencial anomalia geotérmica num bloco crustal pode ter origem na redistribuição de energia térmica devida à circulação ascendente ou descendente de fluidos (Oliver, 1986). Deste modo, a ocorrência de sistemas hidrominerais é geralmente controlada por estruturas geológicas profundas e activas induzindo a circulação de fluidos pela sua actividade sismotectónica (entre outros modos por bombagem sísmica). A actividade sísmica parece ser contínua ao longo do tempo, e concentrada nos locais onde ocorrem os principais sistemas hidrominerais (Ingebritsen & Manning, 2010). A circulação de fluidos e as reacções fluido-rocha são componentes activas dos processos de ruptura sísmica,

---

originando a fracturação hidráulica e fenómenos de metassomatismo ou hidrotermalismo dos materiais rochosos da crosta (Tenthorey et al., 2003; Ingebritsen & Manning, 2010).

As zonas intensamente fracturadas, correspondentes à intersecção dos distintos tipos de estruturas, designadas habitualmente por “nós tectónicos”, são os locais mais propícios para a circulação, em regime forçado, dos fluidos hidrominerais (Banks et al., 1996; Bitzer et al., 2001; Ingebritsen & Manning, 2010). A compartimentação morfotectónica em grande dos blocos crustais e, em particular, da compartimentação local dos maciços rochosos expressa, em profundidade, pela sua rede de fracturação e alteração meteórica serão determinantes para a circulação geohidráulica (Lachassagne et al., 2001; Lachassagne et al., 2011). Os segmentos de estruturas activas podem actuar como barreiras e/ou condutas, constituindo uma componente importante do controlo do fluxo hidromineral (Oliver, 1986; Banks et al., 1996; Ingebritsen & Sanford, 1998).

A grande maioria das águas subterrâneas (das quais as águas minerais são um excelente exemplo) tem a sua origem na precipitação atmosférica. No entanto, em alguns casos, os processos de recarga e circulação subterrânea são relativamente complexos, sendo necessário obter o maior número possível de informações acerca dos processos envolvidos. Nesse sentido, a presente dissertação visa a elaboração do desenvolvimento metodológico de cartografia hidro-temática (especialmente a hidrogeomorfológica) que contribua para a elaboração de um modelo hidrogeológico conceptual o qual promova a sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos em áreas-chave de pólos hidrogeológicos relevantes, ou seja, os sectores de Aguiar da Beira/Arouca/Penafiel e da Serra da Gardunha.

Como foi referido no capítulo 3 da presente investigação, pretende-se através de uma abordagem holística aprofundar e aplicar metodologias hidrogeomorfológicas em ambiente SIG, relevando a importância da componente hidrológica subterrânea, em estudos de prospecção/pesquisa em ambientes hidrogeológicos complexos. Porém, não foram descuradas as interacções com a hidrologia superficial e subsuperficial, bem como a influência da climatologia e da geomorfologia no ciclo hidrológico. A cartografia hidrogeomorfológica integrada no meio físico natural (Tricart, 1963; 1978; Tricart et al., 1965) é assim revisitada numa perspectiva dos modernos conhecimentos geomorfológicos e hidrogeológicos sobre rochas duras fracturadas numa base cartográfica SIG (e.g., Burbank & Anderson, 2001; Fetter, 2001; Scheidegger, 2004; Krásný & Sharp, 2007; Scesi & Gattinoni, 2009; Ballukraya & Kalimuthu, 2010; Singhal & Gupta, 2010).

---

## 5.2. Breve síntese da abordagem metodológica

A abordagem metodológica aplicada nos diversos sectores de estudo apresenta diversos aspectos comuns, tais como as tarefas realizadas, os materiais e métodos utilizados (nomeadamente na caracterização do maciço rochoso e no inventário hidrogeológico), bem como as etapas e metodologias usadas na elaboração da cartografia hidrogeomorfológica. Estas serão explanadas seguidamente, ressaltando, naturalmente, as especificidades de cada um desses mesmos sectores.

Assim, foram realizadas em cada pólo de estudo uma série de investigações de campo, de gabinete e de laboratório, tendo em vista o desenvolvimento de um modelo conceptual de circulação da água subterrânea. Os trabalhos realizados, sempre com uma perspectiva integradora, compreenderam a realização de uma série de actividades de investigação, nomeadamente:

- i) Caracterização regional - geológica, geomorfológica, hidroclimatológica e hidrogeológica;
- ii) Inventário sistemático dos dados disponíveis, inclusivé de elementos hidro-históricos, e o seu enquadramento hidrogeológico; síntese dos constrangimentos topográficos, climatológicos, geomorfológicos, geológicos e ambientais da área de estudo e zona envolvente;
- iii) Interpretação fotogeológica e morfotectónica numa base SIG; execução de cartografia geológica e cartografia geomorfológica, nas escalas de base 1/5.000 e 1/10.000 e sintetizando toda a informação cartográfica à escala 1/10.000; Execução do esboço hidrogeológico, a uma escala adequada, de cada pólo de estudo;
- iv) Análise, cruzamento, interpretação e síntese da informação geológica e morfotectónica, bem como as suas implicações no desenvolvimento do recurso hidromineral;
- v) Inventário de campo de pontos de água e de potenciais focos de contaminação com controlo hidroquímico *in situ*. Caracterização do(s) aquífero(s) ocorrentes(s): recarga, aspectos hidrodinâmicos e hidroquímicos do reservatório. Relação com o escoamento superficial;
- vi) Preparação de cartografia hidrogeomorfológica, à escala local, numa base SIG;
- vii) Elaboração de um modelo hidrogeológico conceptual enfatizando o papel da hidrogeomorfologia.

Na caracterização e descrição geológica pormenorizada das áreas de estudo, recorreu-se às técnicas básicas da geologia e da hidrogeologia aplicada (e.g., West, 1991; Assaad et al.,

---

2004; Ferrer & González de Vallejo, 2007). No estudo da fracturação e da alteração local procedeu-se ao levantamento sistemático, através da técnica de amostragem linear, das descontinuidades (diaclases, falhas, etc.) em afloramento, com base na terminologia e nos critérios recomendados, quer pela *International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1978b, 1981) quer pelo *Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow* (CFCFF, 1996), para estudos da compartimentação de maciços rochosos, exhaustivamente descrito no capítulo 2. A aplicação desta técnica apenas foi possível nos pólos das Caldas da Cavaca e da Noninha. Nos pólos de Entre-os-Rios e do Alardo, dadas as suas condições naturais e ocupação humana, não foram identificados taludes onde a técnica da amostragem linear pudesse ser aplicada de forma representativa. Este facto constituiu também uma dificuldade acrescida no âmbito dos trabalhos de refinamento e actualização da cartografia geológica, ao nível local. Contudo, sempre que possível, nos afloramentos rochosos existentes, foram realizadas medições das atitudes das descontinuidades identificadas, bem como realizados ensaios esclerométricos, por forma a refinar a caracterização local do maciço rochoso.

Durante os trabalhos de inventariação dos pontos de água das áreas de estudo, foram medidos, sempre que possível, de uma forma sistemática os respectivos parâmetros físico-químicos, com controlo *in situ* da temperatura, do pH e da condutividade eléctrica. Para cada ponto de água foi criada uma ficha de levantamento contendo, entre outras, as seguintes informações: número do ponto de água, localização, cota (m), tipo de captação e/ou ponto de água, profundidade (m), pH, condutividade eléctrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), litologia/estrutura, data e hora da recolha dos dados e observações relativas aos aspectos construtivos das captações. Em gabinete, nas fichas preenchidas no campo foi ainda acrescentada uma fotografia ilustrativa do ponto de água referenciado, bem como um pequeno mapa de enquadramento do ponto de água inventariado (*cf.* Anexo 3, Anexo 5, Anexo 7 e Anexo 8).

Na caracterização da vulnerabilidade à poluição das diferentes unidades hidrogeológicas definidas em cada sector foi usado o índice de vulnerabilidade GOD (*Groundwater – Overall lithology – Depth to water table*). O índice de vulnerabilidade GOD caracteriza a vulnerabilidade do aquífero à contaminação tendo em conta os seguintes parâmetros (Foster et al., 2002): a) **G**, grau de confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero em questão (Groundwater confinement); b) **O**, zona não-saturada ou camada confinante (Overlying strata), em termos da característica hidrogeológica e do grau de consolidação que determinam a sua capacidade de atenuação do contaminante e c) **D**, a profundidade do nível hidrostático ou do tecto do aquífero confinado (Depth to groundwater).

O índice final integral de vulnerabilidade do aquífero é o produto dos três índices desses parâmetros. De acordo esta metodologia, o valor final do índice situa-se entre 0 e 1, correspondendo o nível mais baixo de vulnerabilidade — vulnerabilidade muito baixa — a valores inferiores a 0,1, enquanto que o valor mais elevado — vulnerabilidade muito alta —

---

é atribuído a valores superiores a 0,7.

Em termos cartográficos, para os diversos sectores de estudo, foi implementada uma base de dados geográfica, centrada essencialmente na geologia (litologia, estrutura, grau de alteração e grau de fracturação), rede de drenagem, declives, uso do solo e distribuição da precipitação. Após um processo de uniformização dos dados, estes foram cruzados, usando diferentes factores de ponderação. Foi então gerada uma série de mapas temáticos, que permitem uma visão integrada da área de estudo. O cruzamento das diferentes variáveis permitiu calcular as áreas que apresentam um maior potencial de infiltração, i.e., áreas em que se combinam de forma favorável, a maioria dos factores em análise. Os diferentes factores, e os seus pesos relativos foram estipulados de acordo com a bibliografia de especialidade (e.g., Krishnamurthy et al., 1996; Jha et al., 2007; Yeh et al., 2009; Sener et al., 2005; Sreedevi et al., 2005; Shaban et al., 2006; Sander, 2007; Teixeira et al., 2010a). Os dados de campo, juntamente com a literatura da especialidade, permitiram identificar as diferentes classes de cada factor. O primeiro ensaio desta metodologia foi apresentado e publicado em Teixeira et al., 2010a).

Os diferentes factores usados para identificar as áreas com maior potencial de infiltração foram agrupados em três grandes categorias: descrição geológica de maciço rochosos, descrição geográfica e caracterização hidrogeomorfológica. Os mapas fundamentais de cada um dos factores foram combinados usando a ferramenta de análise espacial do software *ArcGis 9.3*. A estrutura *raster* (*Grid* – grelha rectangular de células, cujo tamanho adoptado neste estudo foi de 5 metros de lado, i.e., 25 m<sup>2</sup>) apresenta-se como a mais adequada para este tipo de análise, pois permite que, para cada célula, se possam calcular, por sobreposição, os valores das células de cada mapa. O mapa resultante assume a forma de índice, variando entre 0 e 100, em que os locais com valores mais elevados reflectem uma combinação ideal de todos os factores em análise (cf., ponto 2.2.2, capítulo 2).

O potencial de infiltração resultou, tal como foi referido, da combinação dos seguintes factores: litologia, estrutura, grau de alteração do maciço, densidade de lineamentos tectónicos, densidade da rede de drenagem, ocupação do solo, declive e variação espacial da precipitação. Os pesos atribuídos a cada factor, dadas as especificidades de cada um dos pólos de estudo, são descritas pormenorizadamente em cada um dos pólos de estudo.

Esta abordagem holística vem de encontro com a recomendação da “US National Research Council (NRC, 2001) para o estudo integrado da designada *Zona Crítica da Terra* (“Earth Critical Zone”) que será, por certo, uma das futuras áreas de investigação interdisciplinar entre as Ciências da Terra, Ciências do Solo e Ambiente. Foi definida pelo NRC (2001) como o ambiente próximo da superfície, heterogéneo, no qual há uma interacção complexa entre rocha, solo, água, ar e seres vivos que regulam o *habitat* natural e determinam a disponibilidade dos recursos naturais (figura 67). Esta zona da superfície Terrestre varia desde o topo da vegetação até à base do aquífero, com uma espessura variável

subordinada à actividade do ciclo da água e, também, do ciclo geodinâmico das rochas. Logo, abarca a biosfera e atmosfera próximas da superfície, a completa pedosfera, e a porção superficial e subsuperficial da hidrosfera e litosfera (Lin, 2010).

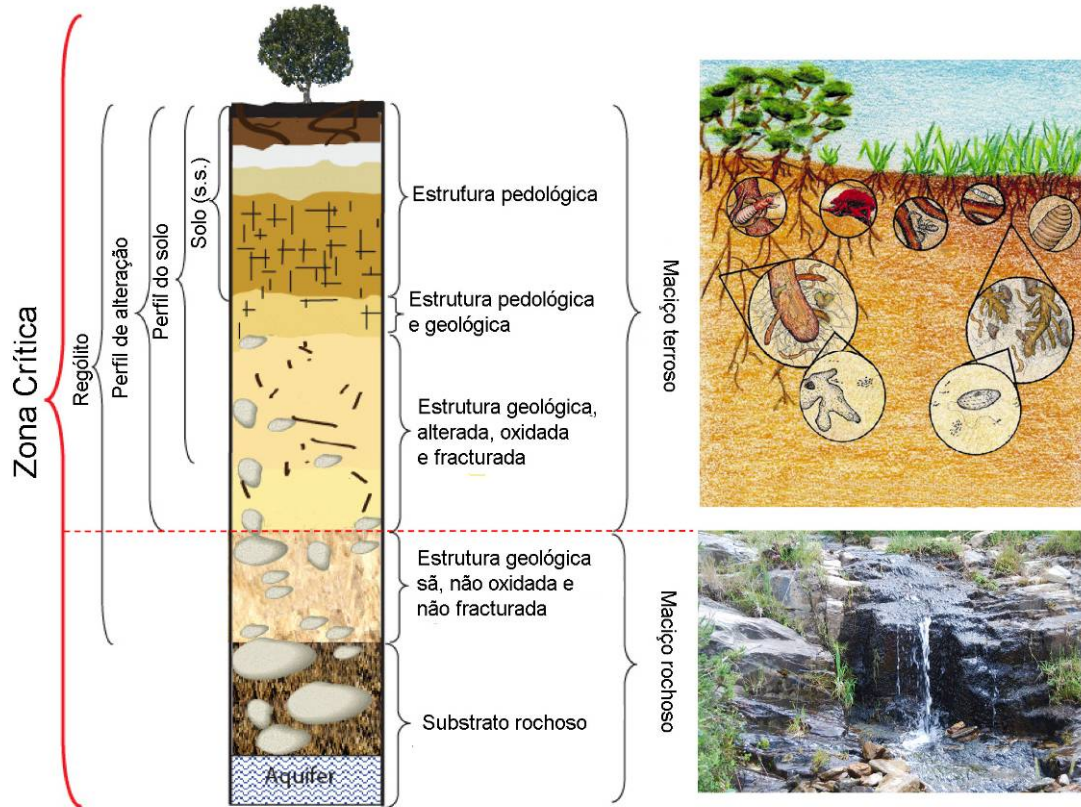


Figura 67 – Esquema da Zona Crítica da Terra (“Earth Critical Zone”, adaptado e modificado de Lin, 2010).



---

## **SECTOR I: Aguiar da Beira – Arouca – Penafiel**

### **5.3. Pólo das Caldas da Cavaca (Aguiar da Beira)**

Os resultados ora apresentados dizem respeito às investigações hidrogeomorfológicas desenvolvidas no âmbito do presente projecto de dissertação e retomam ainda o essencial do estudo prévio de prospecção hidrogeológica (TARH, 2005) na área das Caldas da Cavaca (Aguiar da Beira) coordenado pelo Prof. J. Martins Carvalho e pelo Prof. H.I. Chaminé, onde o signatário colaborou activamente desde o trabalho de campo até ao tratamento de dados em laboratório.

A singularidade da água emergente nesta região está associada à prática do termalismo, desde o dealbar do Século XX (e.g., Contreiras, 1951; Acciaiuoli, 1952/53; Pral, 1965; D’Almeida & Almeida, 1970-1988; Barata, 1983). Nesta temática, são de destacar, entre outros, os trabalhos de Carvalho et al. (2005a), de Cerqueira et al. (2006) e de Teixeira et al. (2009a; 2009b; 2010b).

A concessão hidromineral HM-11 Caldas da Cavaca situa-se na freguesia de Pinheiro da Cortiçada, do Concelho de Aguiar da Beira e do Distrito da Guarda, tendo o seu contrato de concessão publicado no Diário da República, III série, nº 67, de 21 de Março de 1994. A área de protecção encontra-se salvaguardada pela Portaria 439/96, de 3 de Setembro. A concessão ocupa uma área de 50 ha e localiza-se na sub-bacia do rio Dão integrada na bacia hidrográfica do rio Mondego. A investigação e o inventário hidrogeológico incidiram sobre uma área mais alargada, com cerca de 1500 ha.

A área das Caldas da Cavaca situa-se na folha 168 (Queiriga) da carta topográfica, à escala 1/25.000 (edição 3 - série M888, IGeoE, 1999b), dos Serviços Cartográficos do Exército. O acesso às Caldas da Cavaca, próximo às localidades de Pinheiro e da Cavaca, é feito a partir de Aguiar da Beira, pela estrada secundária asfaltada, E.N.587-2, que liga essa povoação, pela E.N.229, aos centros urbanos da Aguiar da Beira e de Sátão. A distância desde Aguiar da Beira ao centro das Caldas da Cavaca é de, aproximadamente, 7 km. As acessibilidades, a partir de Sátão, são ainda apoiadas pelo auto-estrada A25, que liga as cidades de Aveiro e da Guarda.

#### **5.3.1. Enquadramento geológico local**

O maciço granítico das Caldas da Cavaca faz parte de uma faixa de granitóides Variscos, com orientação geral NW-SE, que se estende desde o Alto Minho – Sul da Galiza até às Beiras (Dias et al., 2000). Do ponto de vista geotectónico regional estes inserem-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI) e na Zona da Galiza – Trás-os-Montes (ZGTM) do Maciço Ibérico

---

(Ribeiro et al., 1990b; Ribeiro et al., 2007). A região em estudo situa-se no domínio entre duas importantes megaestruturas regionais (figura 68), as falhas de Verín-Régua-Penacova e de Bragança-Vilariça-Manteigas (Cabral, 1995). As estruturas regionais mais significativas correspondem a falhas e a zonas de esmagamento orientadas, mais frequentemente, segundo NNE-SSW a NE-SW e, discretamente, segundo NW-SE a W-E.

Na região das Caldas da Cavaca ocorrem distintas fácies de rochas graníticas (Teixeira, 1958; Boorder, 1965; Teixeira et al., 1972). Assim, na área envolvente das Caldas da Cavaca ocorrem, essencialmente, rochas granitóides, no seio das quais se instalaram numerosos filões e massas de quartzo, de rochas aplito-pegmatíticas, assim como filões de rochas básicas (doleritos). Os filões orientam-se, como referido, segundo a direcção NE-SW e, mais raramente, segundo N-S ou NW-SE.. Estudos de âmbito regional, em especial no que respeita às estruturas frágeis, foram alvo de trabalhos pormenorizados, apresentados especialmente por Freire de Andrade (1935, 1938), Cruz & Oliveira Silva (1991) e GeoEstudos (1994). Por sua vez, o presente estudo retoma alguns dados destes trabalhos, complementando-os com as observações geológico-estruturais de terreno. Os sistemas de estruturas frágeis presentes na área envolvente ao maciço das Caldas da Cavaca condicionam a morfologia, especialmente no que diz respeito ao padrão da rede de drenagem. Com efeito, as linhas de água instaladas sobre os granitos são controladas tectonicamente, como se pode deduzir através da orientação de diversos tramos da Ribeira de Côja, os quais são, muitas vezes, de tendência rectilínea e apresentam inflexões súbitas (Carvalho et al., 2005a). Da análise da 'Carta Neotectónica de Portugal Continental' (Cabral & Ribeiro, 1988; 1989) verifica-se que o sector em estudo se enquadra próximo a sistemas de mega-descontinuidades tectónicas com uma componente predominante de movimentação esquerda, com orientação geral NNE-SSW a N-S, com actividade neotectónica regional assinalável nas vizinhanças (Cabral & Ribeiro, 1988; 1989; Cabral, 1995).

O granito das Caldas da Cavaca apresenta, em afloramento, uma cor cinzenta clara, sendo porfiróide, de duas micas e de grão grosseiro a médio (figura 69). Foram registadas ainda foliações do tipo fluidal de megacristais de feldspato, as quais tendem a orientar-se segundo azimutes situados entre N0°E a N20°E. Aflora na região, a cerca de 2 km para Sul das Caldas da Cavaca, outra fácies granítica caracterizada por ser predominantemente biotítica, porfiróide e de grão médio (figura 70). Em amostra de mão, o carácter porfiróide é menos evidente do que no caso anterior. É uma rocha leucocrata a leucomesocrata, com tonalidade azulada quando fresca. Trata-se, igualmente, de um granito tardi- a pós-tectónico relativamente à fase de deformação D<sub>3</sub> varisca (Ferreira et al., 1987; Dias et al., 2000).

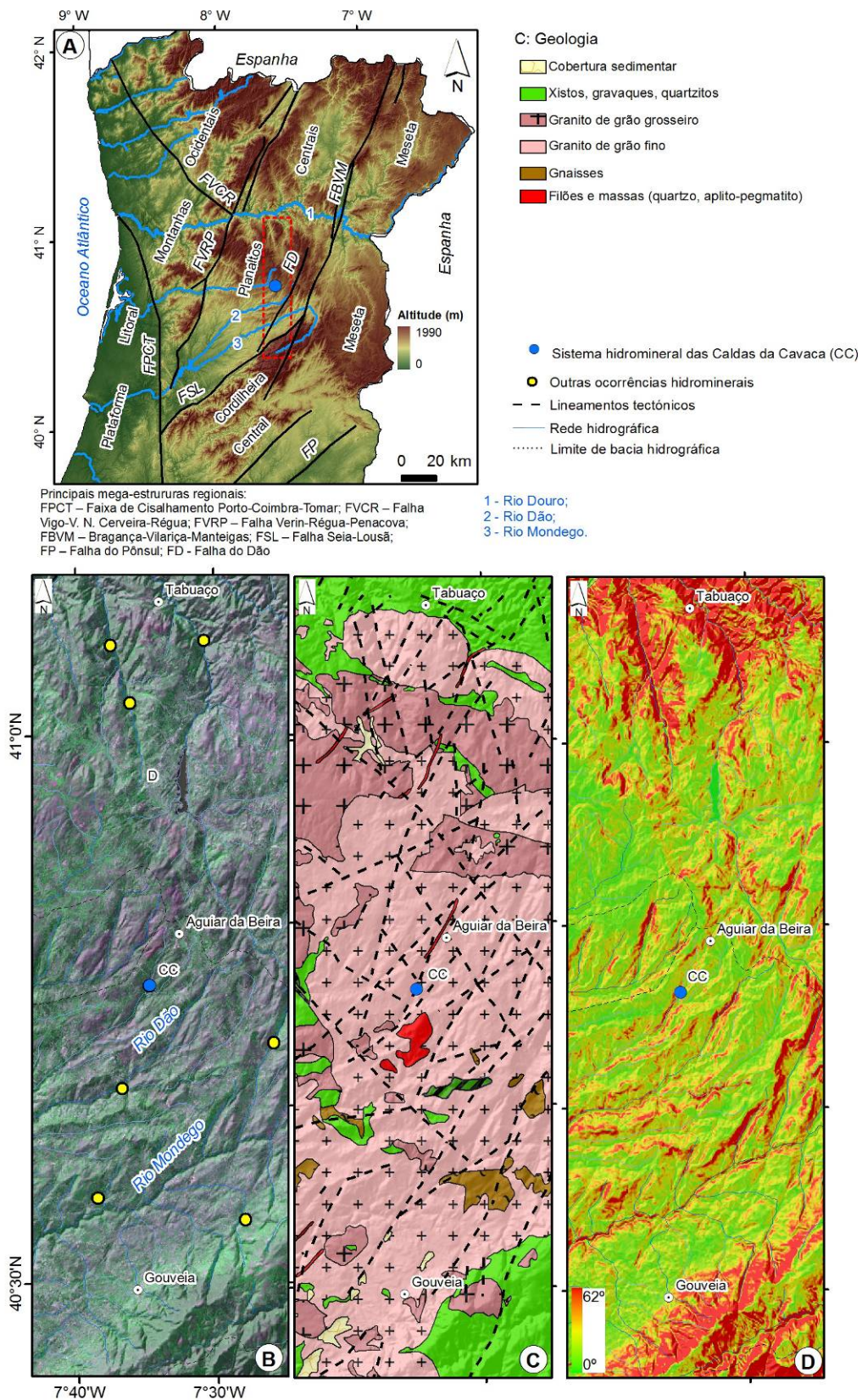


Figura 68 – Enquadramento regional da área das Caldas da Cavaca.

A) enquadramento morfotectónico regional; B) imagem de satélite (adaptada de Landsat 7 ETM+ 2000/01; bandas 7-4-5 = RGB) e nascentes hidrominerais (adaptadas de Carvalho 2006); C) relevo sombreado e geologia regional (adaptado de Oliveira et al., 1992); D) declives das vertentes.



Figura 69 – Aspecto do granito porfiróide de grão grosseiro, aflorante na área das Caldas da Cavaca.

O maciço granítico das Caldas da Cavaca apresenta-se, em geral, medianamente alterado a muito alterado ( $W_3$  a  $W_{4-5}$ ), encontrando-se por vezes desagregado a arenizado. Esta situação é observável nos taludes dos estradões e caminhos de pé-posto, nas imediações das Caldas. A rocha granítica apresenta-se mais alterada especialmente em zonas próximas a contactos tectónicos de natureza dúctil-frágil (falhas). Neste caso, cartografaram-se taludes com um grau de alteração apreciável e na proximidade de estruturas frágeis (sistema de falhas sub-paralelas à 'Falha da Ribeira de Côja', de orientação média N-S a NNE-SSW). Estas estruturas favorecerão, porventura, a circulação de geofluidos e a consequente alteração profunda (na ordem dos 50 m) dos granitóides contíguos a estas falhas (figura 70 e 71).

O relevo granítico da área serrana envolvente às Caldas da Cavaca contrasta com a área aplanada e exígua, onde se localizam os depósitos aluvionares de fraca espessura (inferior a 5 m) das Caldas da Cavaca. Estes depósitos são constituídos, no geral, por materiais argilo-arenosos e foram objecto de cartografia de pormenor, uma vez que não se encontravam referenciados no mapa geológico regional de Boorder (1965) e de Teixeira et al. (1972b), por não terem, na escala de trabalho destes autores, uma área com representação cartográfica, mas representam, à escala local, um importante papel hidrogeológico (Carvalho et al., 2005a). Tais depósitos ocorrem ao longo da Ribeira de Côja e constituem bons solos agrícolas, actualmente abandonados.

A megaestrutura frágil, com orientação geral NNE-SSW, cartografada na área das Caldas da Cavaca, designada por 'Falha da Ribeira de Côja' apresenta uma expressão cartográfica regional e, localmente, observam-se aspectos de esmagamento e de argilificação consideráveis. As estruturas secundárias de orientação NE-SW a E-W têm uma importância acrescida em especial nos locais de intersecção com a estrutura maior referida anteriormente, funcionando como nós tectónicos que poderão constituir áreas favoráveis à

circulação de água subterrânea. Os estudos geofísicos (método electromagnético) efectuados por GeoSonda (2004) confirmaram ainda a existência de estruturas com orientação próxima a N-S e, bem assim, um horizonte de alteração com uma espessura que rondará os 50 m, na área do vale, junto ao estabelecimento termal das Caldas da Cavaca.

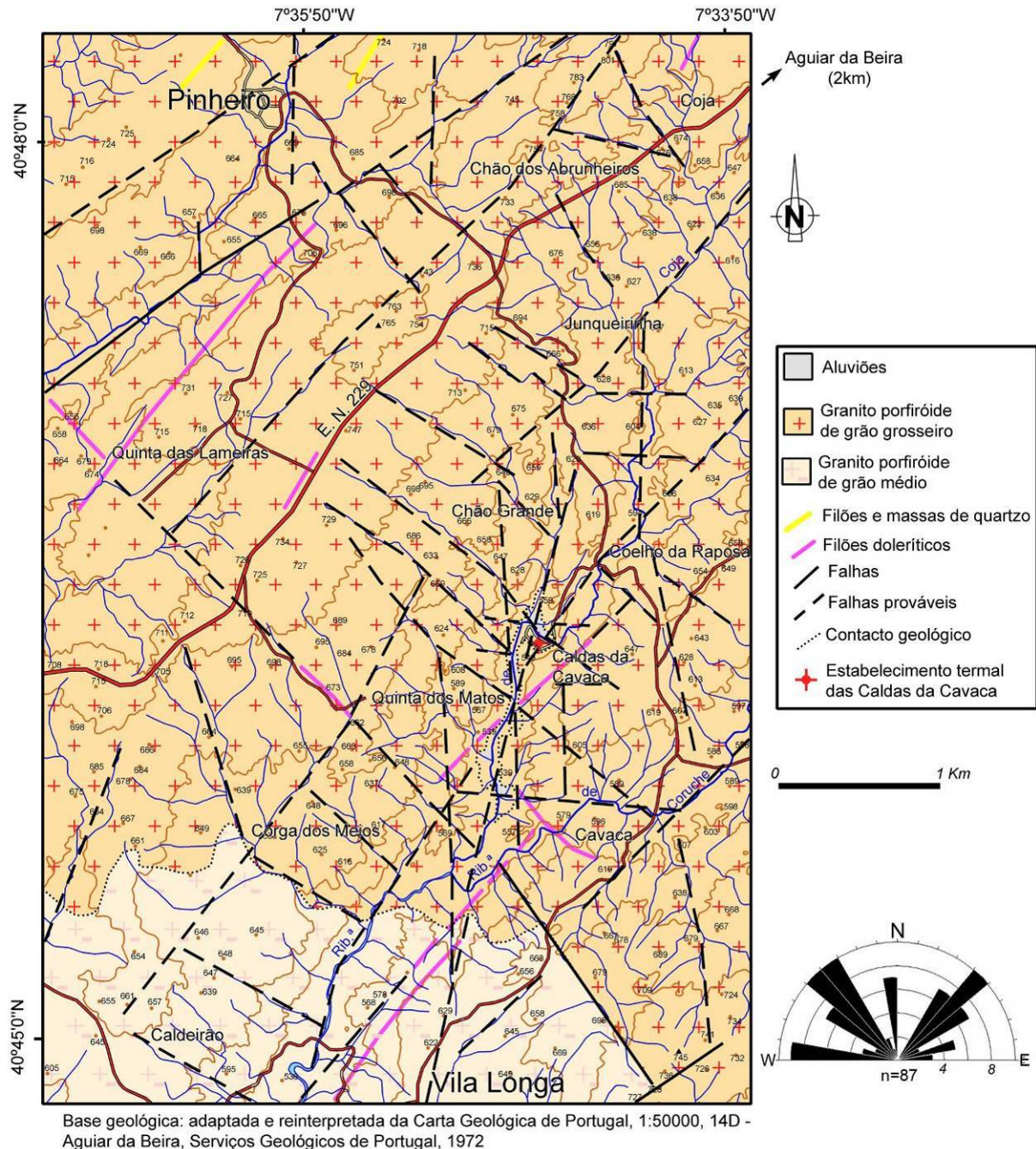


Figura 70 – Esboço geológico (adaptado de Carvalho et al., 2005a) e diagrama de roseta dos lineamentos tectónicos da área das Caldas da Cavaca.



A) Vista geral do maciço granítico da área envolvente das Caldas; B) Aspecto da deformação frágil no maciço; C) Pormenor das discontinuidades sub-horizontais, evidenciando estruturas de esmagamento (dúctil-frágil); D) Terrenos agrícolas junto às Caldas; E) Aspecto de uma caixa de falha; F) Pormenor de um filão dolerítico de tonalidade alaranjada (alterado) em contacto com o granitóide de tom amarelado; G) Pormenor da morfologia granítica típica, com evidência para a rede de fracturação em grande do maciço granítico.

Figura 71 - Aspectos geológicos da área envolvente das Caldas da Cavaca.

---

O sistema de fracturação principal da área é subvertical (localmente pode apresentar inclinações na ordem dos 70-80° SW, em geral relacionadas com megaestruturas frágeis), com orientação média NNE-SSW a N-S (geralmente sistemas de diaclases com abertura decimétrica) a NE-SW. Foi registado um outro sistema de diaclasamento sub-horizontal, com abertura milimétrica ou preenchimento com material de esmagamento rochoso e argiloso. Verificou-se que nas zonas mais afectadas pela deformação com orientação média NNE-SSW a NE-SW, o granito se encontra arenizado e argilitizado, sendo frequente a existência de filonetes de quartzo. Esta alteração do granito, associada ao sistema de fracturação N20°E a N30°E foi também registada por Freire de Andrade (1938), a qual é visível na zona das captações de água mineral.

Foram reconhecidos alguns afloramentos, sem expressão cartográfica, de estruturas filonianas aplíticas e aplito-pegmatíticas, de cor amarela-esbranquiçada, bem como filões de quartzo. De destacar a ocorrência de filões de rochas básicas, do tipo dolerítico, de tonalidade escura esverdeada quando fresco (Boorder, 1965; Teixeira et al., 1972), os quais se encontram, a maioria das vezes, muito alterados e decompostos e apresentam disjunção esferoidal. Quando a alteração é muito intensa, o seu aspecto é argiloso e a cor castanho-amarelada (figura 72). Os filões básicos denunciam a presença de fracturação profunda, que pode representar um papel importante em termos hidrogeológicos.



Figura 72 – Aspecto geral (a) e de pormenor (b) de um filão dolerítico pouco alterado, cartografado nas imediações das Caldas da Cavaca.

### 5.3.2. Enquadramento geomorfológico local

O maciço granítico em estudo enquadra-se na área planáltica das Beiras, com altitudes compreendidas entre 750 e 850m, caracterizada pela existência de elevações, tais como as da serra da Lapa (953 m, no v.g. do Facho) e da serra do Pereiro (951 m no v.g. do Pereiro), entre outras (Teixeira et al., 1972). A área envolvente das Caldas da Cavaca distingue-se, no entanto, pela existência de altitudes menores do que as referidas, as quais se situam no intervalo entre os 520 m e os 765 m. São de referir, a este propósito, o v.g. de Penedo do Homem (765 m, situado a cerca de 2,3 km para NNW do estabelecimento termal) e o v.g. da serra Alta (745 m, localizado a 2,6 km para SSE do estabelecimento termal das Caldas da Cavaca).

Esta região enquadra-se na unidade geomorfológica dos Planaltos Centrais (Brum Ferreira, 1978; Feio & Daveau, 2004) na região do Norte da Beira. Segundo estes autores, os Planaltos Centrais e a Meseta Ibérica tiveram, em certa medida, uma evolução geomorfológica comum. No entanto, o soerguimento desta unidade geomorfológica favoreceu a génese de um relevo mais irregular do que o da restante Meseta. De acordo com os autores supracitados, podem definir-se vários níveis de aplanamento para esta área, embora a dissecação tenha criado vales vincados que retalham geometricamente o relevo, os quais reflectem a intensa fracturação da região (figura 73).

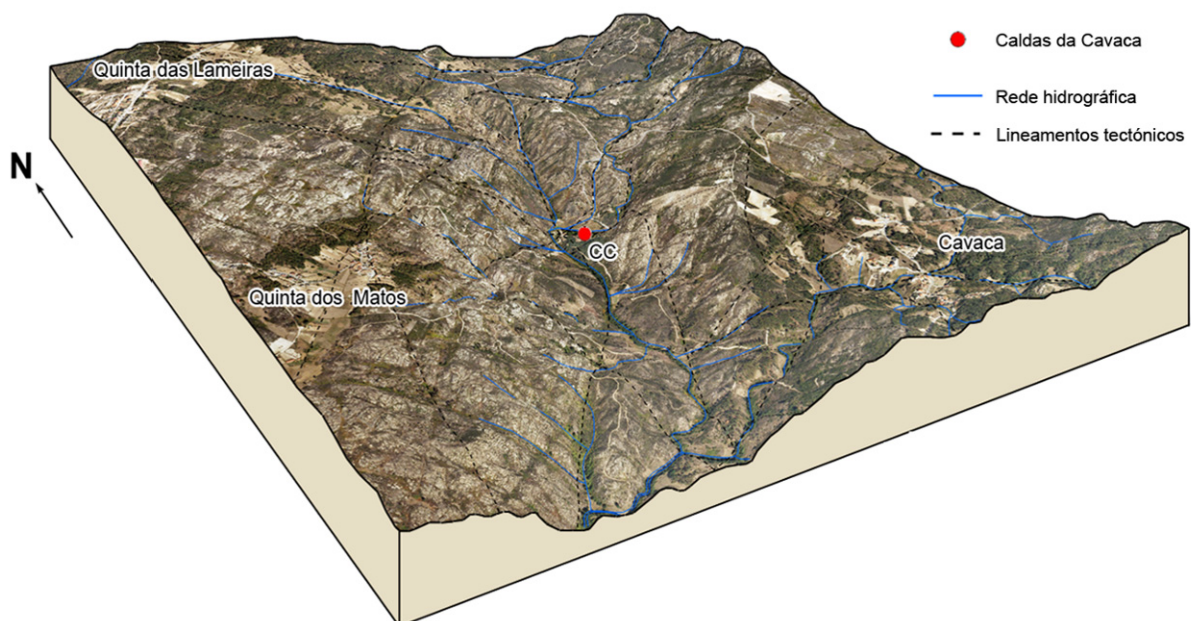


Figura 73 – Perspectiva da morfologia na área das Caldas da Cavaca.

A rede de drenagem na área onde se encontram as Caldas da Cavaca pertence, como se referiu, à sub-bacia hidrográfica do rio Dão, afluente do Rio Mondego (figura 74). Assim, a generalidade das linhas de água aproveita lineamentos de fraqueza estrutural, pelo que a



maior parte dos entalhes correspondem a vales controlados tectonicamente. De facto, conforme referem Brum Ferreira (1978) e Feio & Daveau (2004), o aspecto mais relevante da organização da drenagem dos Planaltos Centrais é a adaptação de muitos dos cursos de água à rede de fracturas (figura 75).

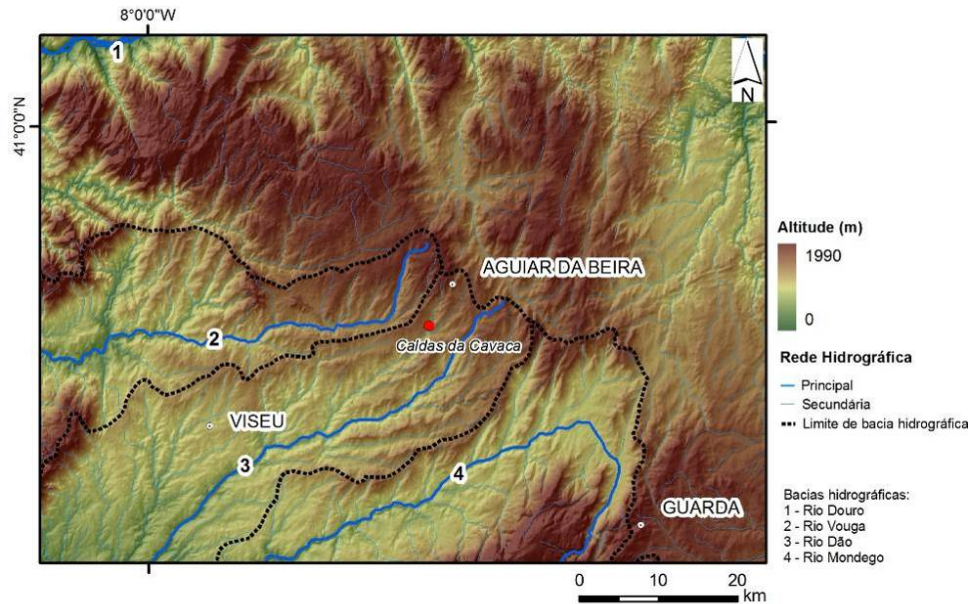


Figura 74 – Principais bacias hidrográficas na área das Caldas da Cavaca (adaptado de I. Ambiente, 1991/92 e INAG, 2002).

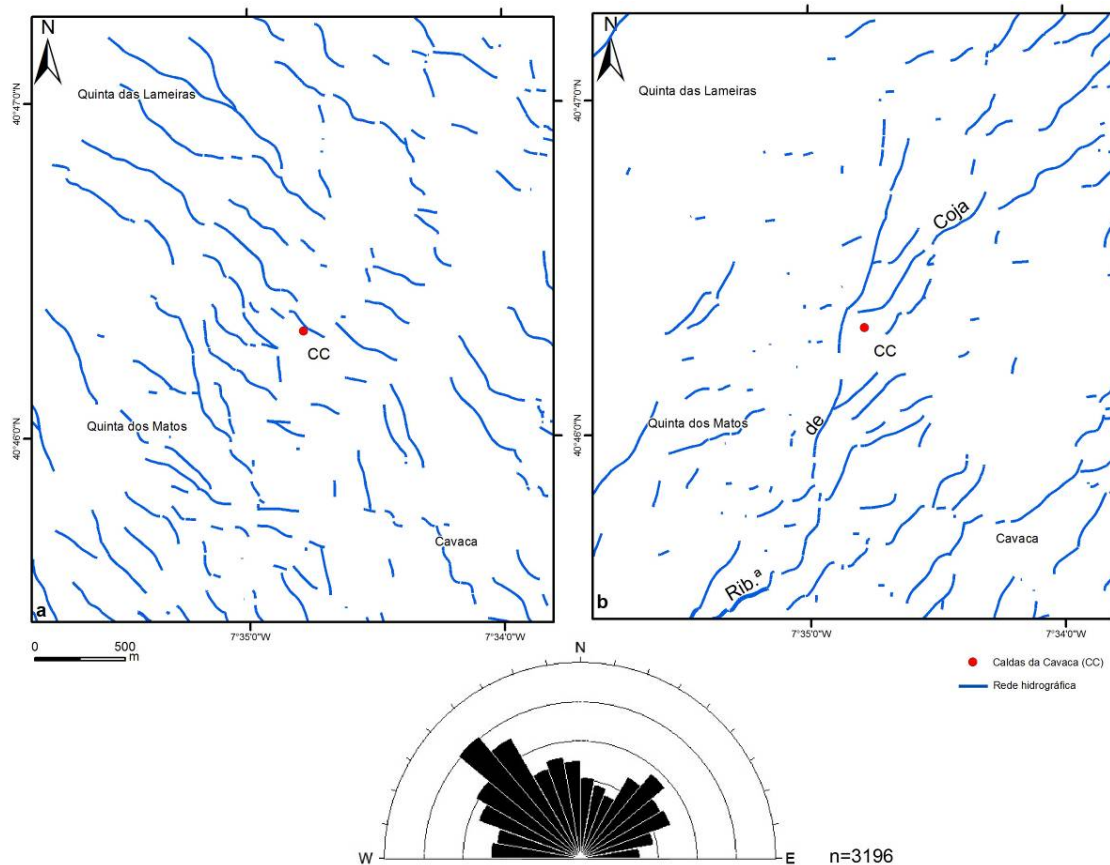


Figura 75 – Principais direcções da rede hidrográfica na área das Caldas da Cavaca, para os quadrantes Noroeste, NW (a) e Nordeste, NE (b).

---

No sector oriental desta unidade geomorfológica regional, os planaltos centrais — onde se enquadra a área estudada — a rede de drenagem revela indícios claros daquela adaptação, tais como um traçado rígido e com repetidos paralelismos ou a existência de alinhamentos de cursos de água convergindo ou opondo-se às linhas de cabeceira, gerando um padrão de drenagem do tipo paralelo (figura 75). Este padrão de drenagem observa-se, com frequência, nas imediações das Caldas da Cavaca.

As Caldas da Cavaca localizam-se no vale tectónico da Ribeira de Côja, de orientação geral NNE-SSW, a cerca de 530 m de altitude. Na área do estabelecimento termal, este vale é moderadamente encaixado, apresentando encostas de perfil convexo e caracterizando-se por desníveis que rondam os 150 a 200 m (figura 76 e figura 77). A área envolvente às Caldas da Cavaca apresenta, em geral, declives suaves a moderados ( $0^{\circ}$ - $5^{\circ}$  e  $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ), factor que é favorável à infiltração de água subterrânea, pois diminui a velocidade de escoamento da água superficial, aumentando o tempo disponível para esta se infiltrar. Os declives mais elevados da área estão localizados nas vertentes do vale da Ribeira de Côja, e surgem normalmente ligados a afloramentos rochosos de granito são a pouco alterado.

Em termos de tipologia dos solos, o Concelho de Aguiar da Beira é dominado por Cambissolos Húmicos, os quais equivalem genericamente aos solos Litólicos Húmicos derivados dos granitóides (Cardoso, 1974; Gonçalves et. al, 1999). O processo de pedogénese destes solos em climas montanhosos relaciona-se com o elevado índice de exposição aos agentes atmosféricos agrestes, que produzem fenómenos erosivos que não permitem o desenvolvimento de solos evoluídos. As manchas de solo são raras e de espessura diminuta, havendo, por oposição, uma dominância de afloramentos rochosos (CMAB, 1993).

A geomorfologia local reflecte o contexto morfológico regional, nomeadamente pela principal superfície de aplanamento dos Planaltos Centrais, definida por Brum Ferreira (1978; 1980; 1981) e Feio & Daveau (2004), a qual se apresenta bastante regular, a altitudes entre os 700 e os 750 m. Na área apresentada na figura 77, é visível que esta surge maioritariamente nos extremos NW e SE da área, bem como numa pequena área, de forma alongada junto ao sítio de Coelho da Raposa, estando esta retalhada em dois níveis, que rondam os 700 e os 650 m. Foi ainda identificada uma série de áreas aplanadas, de pequena extensão, desde o nível superior (700 m) ao nível inferior, no vale da Ribeira de Côja (521 m).

A transição entre esta superfície superior e a superfície intermédia, com altitudes entre os 600 e 650 metros é feita através de uma vertente de declives suaves, em geral numa extensão superior a 1 km (figura 76 e figura 77). Esta continuidade morfológica é interrompida bruscamente pelos vales encaixados da Ribeira de Côja e dos seus afluentes.

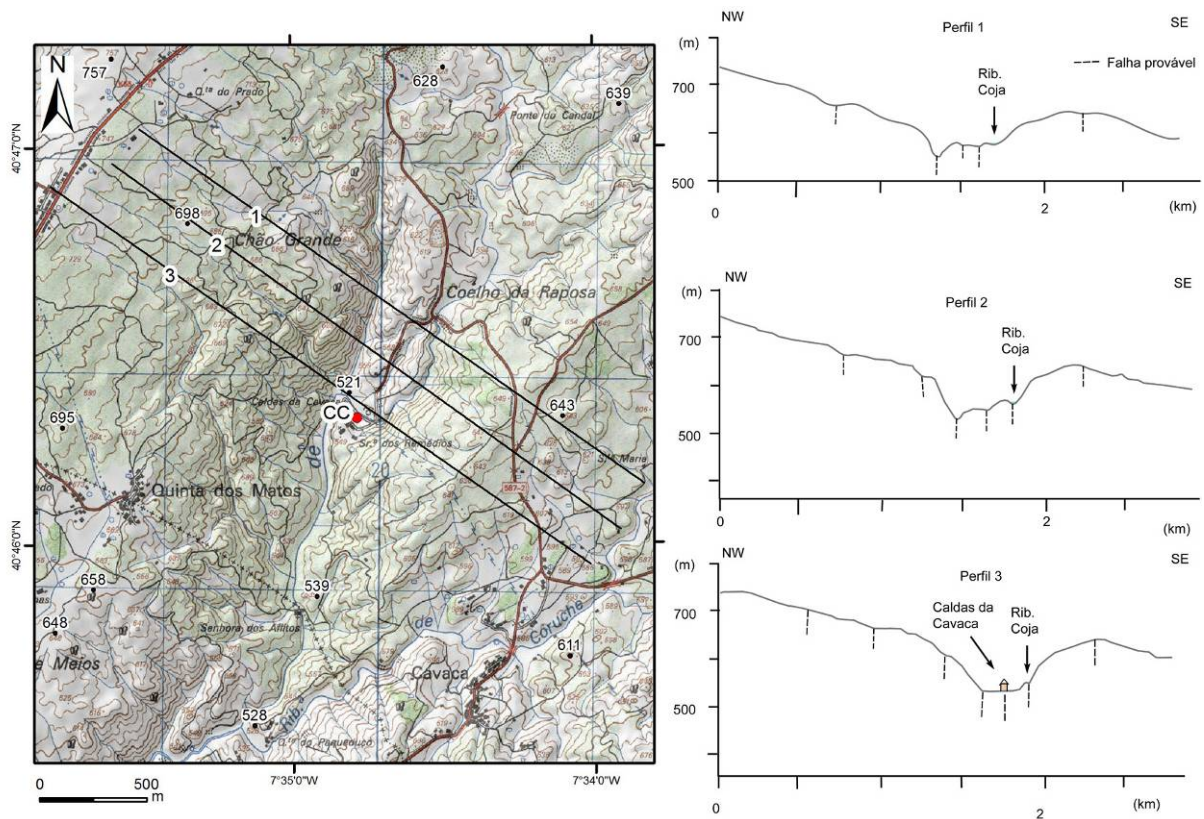


Figura 76 - Perfis topográficos sequenciais da área das Caldas da Cavaca.

Os cursos de água desempenham aqui um importante papel, condicionando a morfologia, através do aproveitamento das linhas mais frágeis do maciço, criando vales encaixados, e com vertentes abruptas, especialmente na margem direita da ribeira da Còja (Figura 76, perfil 2 e 3). As vertentes apresentam formas distintas, dominando as vertentes convexas nas áreas de maior altitude e de menor declive, enquanto que mais próximo do fundo do vale se apresentam com forma côncava, e com maiores declives.

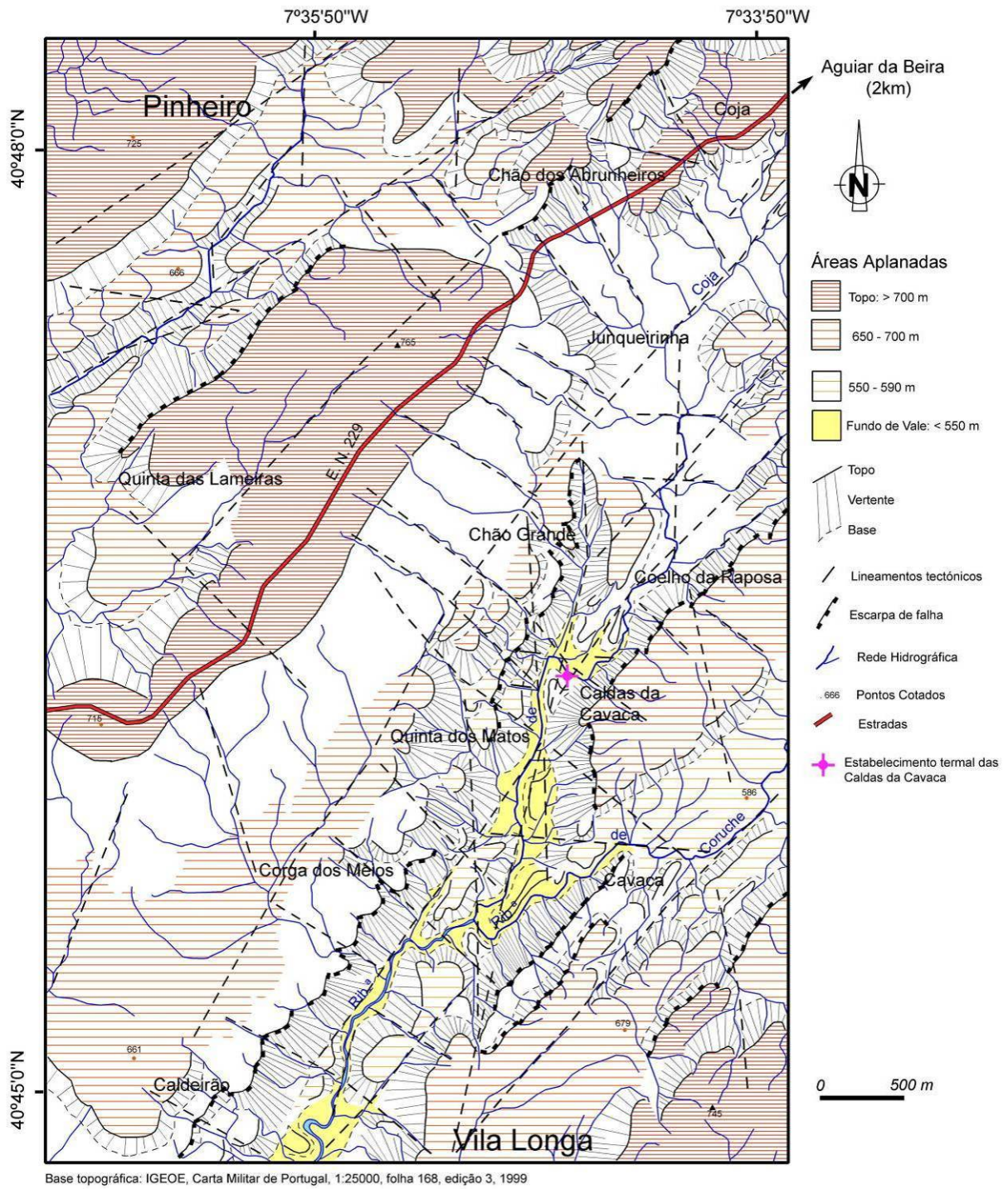


Figura 77 – Esboço geomorfológico da área envolvente das Caldas da Cavaca.

---

### 5.3.3. Hidroclimatologia

#### 5.3.3.1. Análise climática e balanço hídrico

Segundo a divisão do país em províncias climáticas, apresentada por Ribeiro et al. (1987; 1988), a área das Caldas da Cavaca enquadra-se no Norte de Portugal, Região Continental e Província da Beira Interior. Esta província inclui, entre outras, as estações climatológicas de Aguiar da Beira, de Viseu e da Guarda (referidas por Mendes & Bettencourt, 1980). A mesma abrange as regiões dos planaltos da Beira Transmontana e a plataforma inclinada da Beira Alta. Esta província é caracterizada por Invernos frios, com fortes quedas de neve ocasionais, na sua metade oriental, e por Invernos mais suaves, devidos à menor altitude e à menor continentalidade, na metade ocidental. A região estudada localiza-se na zona de transição entre a metade ocidental e a metade oriental desta província climática.

Uma vez que a região das Caldas da Cavaca se localiza junto à Ribeira de Côja, os registos utilizados para o estudo climático reportam-se à estação climatológica mais próxima, localizada em Aguiar da Beira (DRARN-C, 1997). Os valores de precipitação foram compilados de DRARN-C (1997) e correspondem ao período 1930-1996, enquanto que os valores de temperatura se obtiveram a partir de Mendes & Bettencourt (1980), correspondentes ao período 1932-1960. A precipitação média anual na região é de 1252 mm, atingindo um valor máximo em Janeiro (189,0 mm) e um valor mínimo em Julho (16,1 mm). A temperatura média anual do ar é de 13,0°C, com um valor mínimo no mês de Janeiro (6,2°C) e um valor máximo no mês de Julho (20,2°C) (quadro 11).

Considerando, de acordo com Heras, 1976, que o período seco é aquele no qual o dobro da temperatura é superior ao valor da precipitação, constata-se, através do diagrama termopluviométrico (figura 78), que nesta região aquele se estende de Junho a Setembro, correspondendo assim a um terço do ano hidrológico.

A classificação climática desta região é, de acordo com Thornthwaite, 1948,  $B_3B'_2sb'_2$ , correspondendo a um clima húmido, mesotérmico, com défice de água moderado no Verão/Inverno e uma eficácia térmica moderada no Verão. Pela classificação de Köppen-Geiger (McKnight & Hess, 2000; Peel et al., 2007; IM/AEMet, 2011), a área classifica-se como Cfb, correspondendo a um clima temperado húmido, com um Verão temperado. No quadro 11 e na figura 79 apresenta-se o balanço hidrológico sequencial mensal realizado através do método de *Thornthwaite & Mather*, considerando uma capacidade utilizável de 150 mm. De acordo com este balanço, a evapotranspiração real (ETR) é de 581,8 mm, o valor do défice hídrico (DH) é de 168,9 mm. O défice hídrico estende-se de Junho a Setembro, sendo mais acentuado em Julho e Agosto. O valor dos excedentes hídricos (SH) corresponde a de 670,6 mm, sendo a capacidade de campo total repostada apenas no mês de Dezembro.

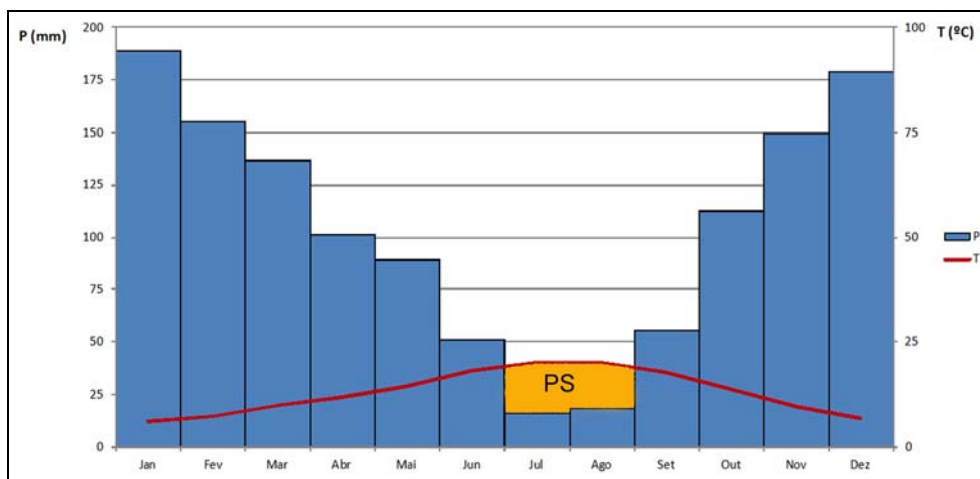


Figura 78 - Diagrama termopluiométrico relativo à estação climatológica de Aguiar da Beira.

P – Precipitação (mm); T – Temperatura (°C); PS – Período Seco

Quadro 11 - Termos do balanço hidrológico sequencial mensal relativos à estação climatológica de Aguiar da Beira (capacidade de água utilizável de 150mm).

Termos do Balanço Hidrológico	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
P	112,6	149,4	178,8	189	155,2	136,9	101,2	88,7	50,9	16,1	18,2	55,4	1252,4
T	13,7	9,6	6,8	6,2	7,2	9,8	11,9	14,3	18,1	20,2	20,0	17,8	
J <sub>i</sub>	4,5	2,7	1,6	1,4	1,7	2,7	3,7	4,8	6,9	8,1	8,0	6,7	52,9
N	11,2	10,0	9,4	9,7	10,6	12,0	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	146,5
ETP	56,8	30,2	18,3	16,6	20,1	38,5	53,8	77,4	107,8	126,8	116,6	87,8	750,8
P - ETP	55,8	119,2	160,5	172,4	135,1	98,4	47,4	11,3	-56,9	-110,7	-98,4	-32,4	501,6
L									-56,9	-167,6	-266,0	-298,4	-298,4
S <sub>so</sub>	76,3	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	102,7	49,1	25,5	20,5	
ΔS <sub>so</sub>	55,8	73,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-47,3	-53,6	-23,6	-4,9	0,0
ETR	56,8	30,2	18,3	16,6	20,1	38,5	53,8	77,4	98,2	69,7	41,8	60,3	581,8
DH	0,0								9,5	57,1	74,8	27,4	168,9
SH	0,0	45,6	160,5	172,4	135,1	98,4	47,4	11,3					670,6

P: precipitação (mm); T: temperatura (°C); J<sub>i</sub>: índice de calor mensal; N: nº máximo de horas de sol para a latitude 40°N; ETP: evapotranspiração potencial (mm); L: perda de potencial de água; S<sub>so</sub>: armazenamento de água no solo (mm); ΔS<sub>so</sub>: variação do armazenamento de água no solo (mm); ETR: evapotranspiração real (mm); DH: déficit hídrico; SH: superavit hídrico

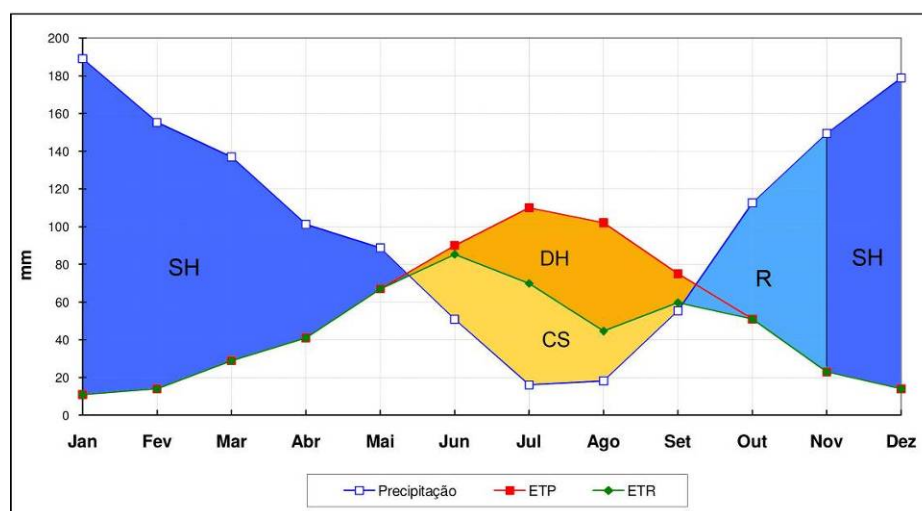


Figura 79 - Balanço hidrológico sequencial mensal relativo à estação climatológica de Aguiar da Beira (SH – Excedentes hídricos; DH – Déficit hídrico; CS - cedência de água pelo solo; R – Reposição de água no solo).

---

### **5.3.3.2. Recarga e escoamento**

De acordo com o INAG (2002), o caudal médio anual na bacia do rio Mondego, gerado para o período de 1941/42 a 1990/91, é de 3266 hm<sup>3</sup>/ano, ao qual corresponde um escoamento médio anual de cerca de 492 mm.

Desta forma, tendo em conta este valor e os valores de precipitação e evapotranspiração real atrás referidos, a recarga média anual será da ordem dos 179 mm e, por conseguinte, a taxa de infiltração corresponderá a cerca de 14% da precipitação média anual. Este resultado encontra-se em concordância com a ordem de grandeza proposta por outros autores para as formações cristalinas do Maciço Antigo Português, conforme os vários estudos apontados no capítulo 4. Como referimos, entre outros, Pereira (1999) calculou um coeficiente de infiltração de 20% da precipitação média anual para a recarga subterrânea na bacia do Tua, enquanto que Lima & Silva (2000) apresentam valores que variam entre 17% e 37%, para o NW de Portugal e Lima (2001) estimou valores de recarga situados entre 14,6 e 21,7% para a região de Braga. Alencão et al. (2000) propõem valores de recarga, na bacia do rio Corgo, que variam entre 5 e 10% da precipitação média anual, e Carvalho et al., (2000; 2003), referindo-se a estudos realizados a propósito dos planos de bacia hidrográfica dos rios Lima, Cávado, Ave, Leça e Douro, propõem valores médios de recarga de 14 a 17% para as formações cristalinas do Norte de Portugal, mas chamam a atenção para a ocorrência de importantes variações locais. Espinha Marques et al., 2010 apontam para a área da Serra da Estrela valores que rondam os 15% da precipitação média anual.

Assim, as quantidades de água disponíveis para a recarga são apreciáveis. Contudo, as condições hidrogeológicas, a sazonalidade das precipitações e a pequena capacidade de ingestão das formações geológicas ocorrentes condicionam negativamente a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos.

### **5.3.4. Caracterização do maciço rochoso**

O reconhecimento da geologia de campo e da cartografia geológico-estrutural de pormenor efectuada na área em estudo permitiu caracterizar em afloramento, principalmente a heterogeneidade litológica, o grau de alteração e a fracturação local do maciço. Procedeu-se igualmente à execução de um estudo geológico aplicado, a diferentes escalas, de modo a incorporar toda a informação disponível com aquela que foi recolhida durante os trabalhos de campo.

Para a caracterização pormenorizada do maciço rochoso, foram realizados levantamentos em quatro afloramentos/taludes naturais (figura 80), três dos quais subdivididos em dois segmentos: o *Talude dos Amores*, o *Talude da Capela*, o *Talude da Lagoa* e o *Talude da Cancela* (cf. Anexo 2)

O talude 1, designado por *Talude dos Amores*, por se localizar junto à mina de água e fonte com o mesmo nome, apresenta uma extensão total de 125 m, onde foram efectuadas 57 estações geológicas. Foram realizados neste talude 17 estações geomecânicas com ensaios esclerométricos *in situ* no material-rocha do maciço rochoso e nas superfícies de descontinuidades.

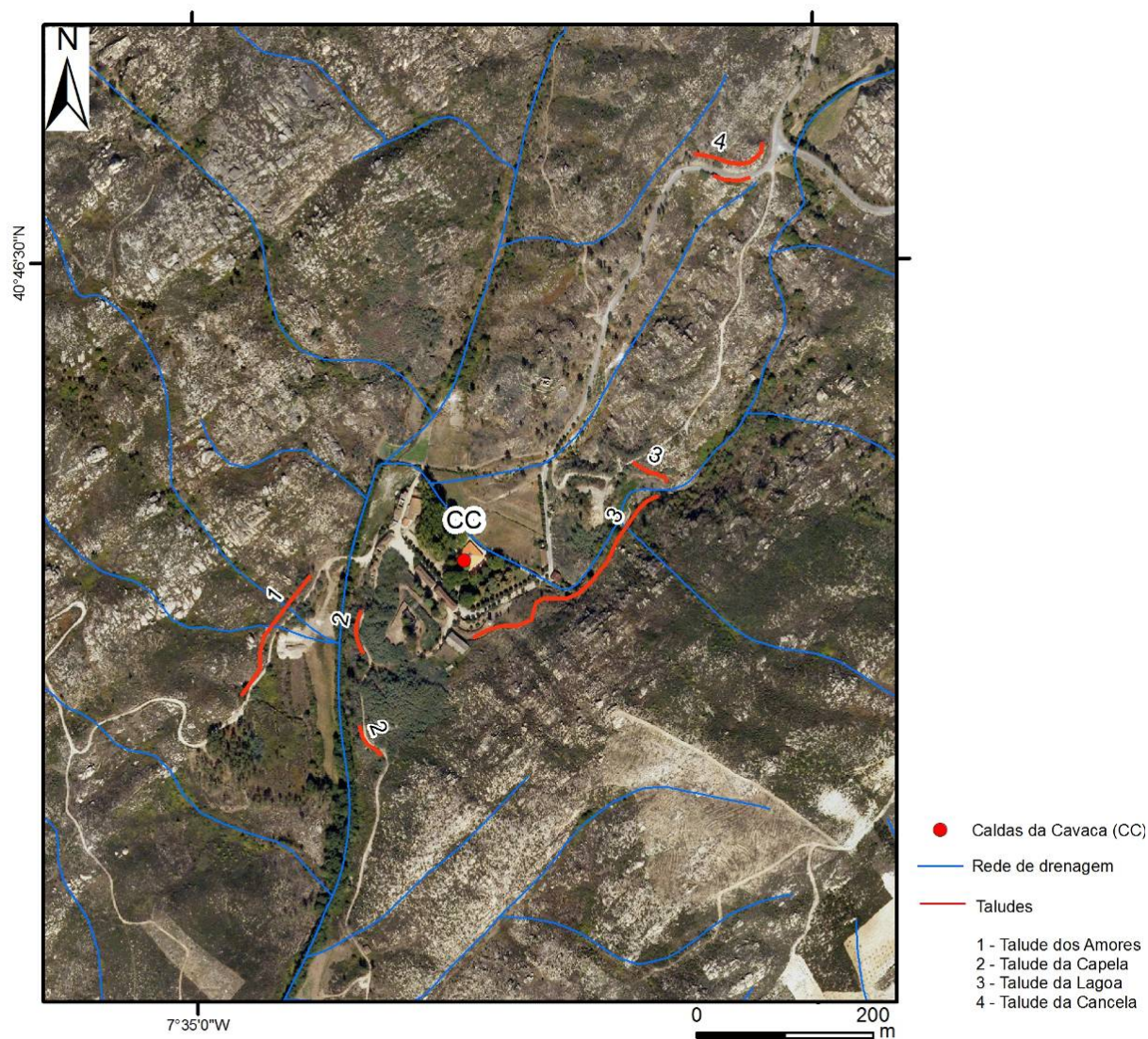


Figura 80 – Localização dos taludes estudados através da técnica da amostragem linear.

Segundo a classificação da ISRM (1978b, 1981) e da GSE (1995), o grau de alteração do maciço cartografado no *Talude dos Amores* encontra-se maioritariamente (78,9% das descontinuidades) medianamente alterado, i.e.,  $W_3$ . Cartografaram-se ainda alguns locais (11,5% das descontinuidades) nos quais o maciço se apresenta são a pouco alterado,  $W_{1-2}$  (Figura 81). No *Talude dos Amores*, a maior parte das descontinuidades correspondem a diaclases (87,7%), e as restantes (12,3%) a falhas.



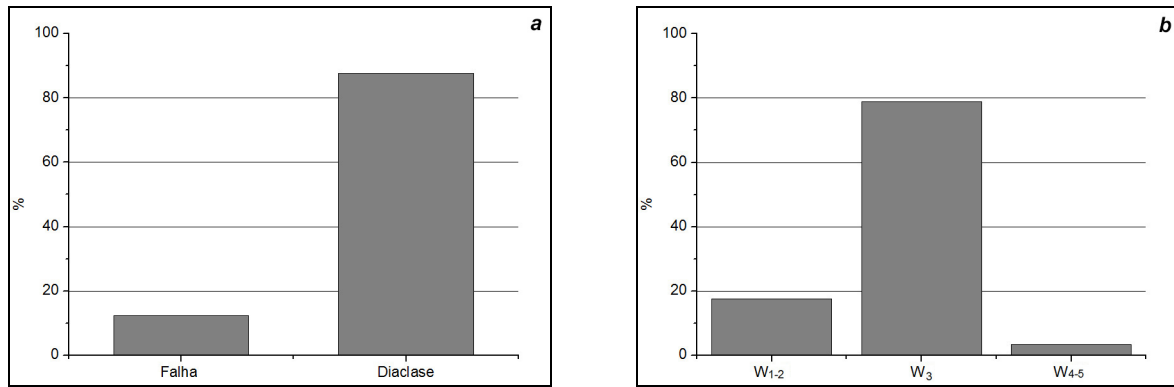


Figura 81 – Tipos de descontinuidade (a) grau de alteração (b) do *Talude dos Amores*.

As descontinuidades medidas neste talude apresentam-se, maioritariamente muito afastadas a medianamente afastadas,  $F_{1-2}$  a  $F_3$  (Figura 82), com os valores médios de 165,1 cm e 44,3 cm, respectivamente. O espaçamento médio registado no *Talude dos Amores*, para a totalidade das descontinuidades medidas, foi de 92,2 cm. Relativamente à abertura (Figura 82), as descontinuidades apresentam-se, maioritariamente (ca. 86%) com aberturas inferiores a 0,5 mm, designando-se como fechadas, apresentando uma abertura média de 0,3 mm. As descontinuidades abertas representam cerca de 10,5% do total, e as muito abertas apenas 3,5%.

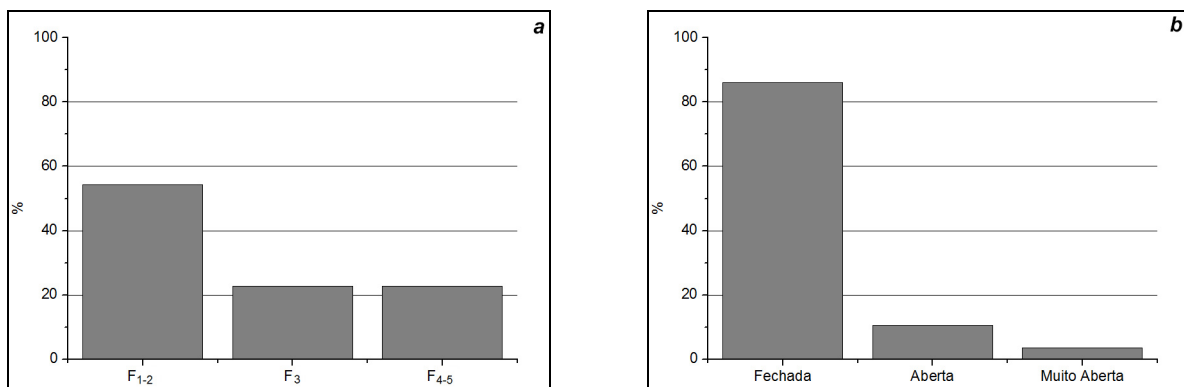


Figura 82 – Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do *Talude dos Amores*.

Quanto à continuidade, que é medida através do semi-comprimento exposto, é importante referir que neste maciço as descontinuidades são pouco contínuas (52,6%, com valor médio de 3,9 m) a medianamente contínuas (31,6%, e valor médio de 3,9 m). As descontinuidades muito pouco contínuas representam apenas 16% do total das descontinuidades registadas neste talude (Figura 83), com um valor médio de 0,6 m. O tipo de terminação das descontinuidades distribui-se pelos três tipos (R-Rocha, D-Descontinuidade, O-Obscura), no entanto a terminação obscura (O) apresenta uma percentagem superior (47,4%), o que corrobora a penetratividade do diaclasamento.

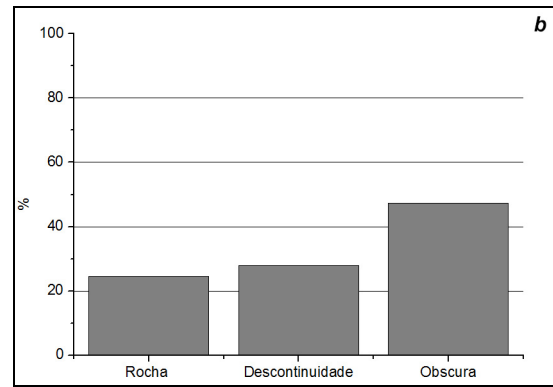
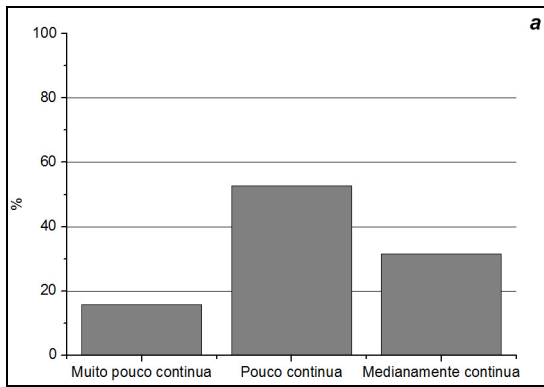


Figura 83 – Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades do Talude dos Amores.

A curvatura das descontinuidades medidas neste talude (Figura 84) é maioritariamente plana a ligeiramente curva,  $C_{1-2}$  (57,9%) a curva,  $C_3$  (40,35%). Não foram registadas neste talude descontinuidades muito rugosas, predominando aqui as descontinuidades do tipo rugosa,  $R_3$  (68,42%). A maioria das descontinuidades não apresenta qualquer enchimento (78,9%). Quando este está presente é constituído, em geral, por rocha esmagada e, mais raramente, por raízes, vegetação ou matéria orgânica (Figura 85). Foi registada a presença de água em cerca de 9% das descontinuidades, mas a maioria das descontinuidades são secas (91,2%).

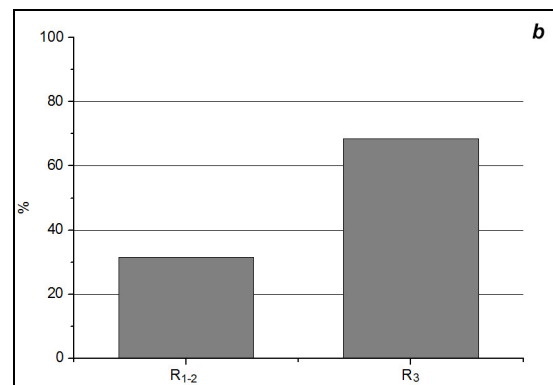
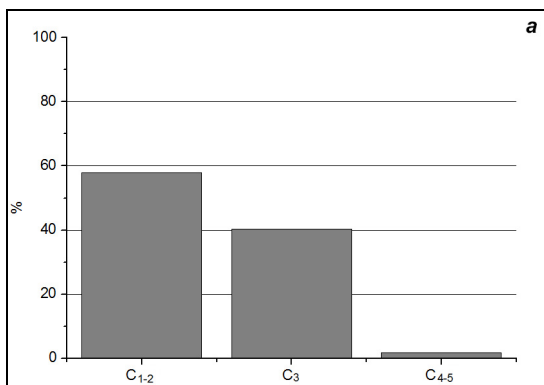


Figura 84 – Curvatura (a) e rugosidade (b) das descontinuidades do Talude dos Amores.

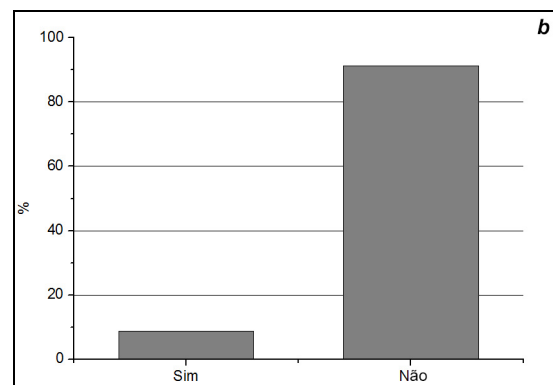
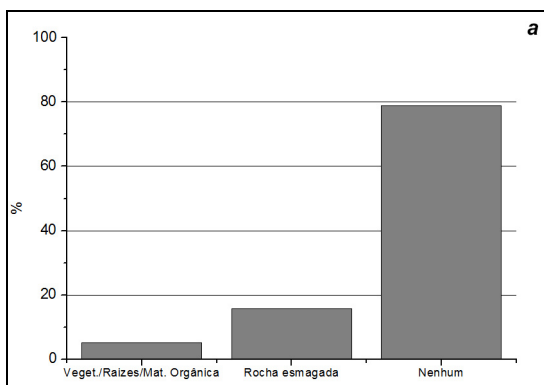


Figura 85 – Enchimento (a) e presença de água (b) nas descontinuidades do Talude dos Amores.

Os diagramas geológico-estruturais (diagrama de contorno estrutural e diagrama de rosetas), permitiram a definição do número de famílias de descontinuidades e,

sobretudo, a definição da atitude das famílias dominantes. A análise destes diagramas (figura 86), permite-nos constatar que as descontinuidades se concentram em três famílias principais: a família N130°-140°E, com inclinações na ordem dos 75° a 85°SW e espaçamento médio de 79,5 cm; a família N140°-150°E, predominantemente subvertical, mas com inclinação dominante para SW (65° a 85°SW) e espaçamento médio 74,9 cm; e, finalmente, a família N60°-70°E, subvertical (60° a 80°SE), com espaçamento médio de 32,6 cm.

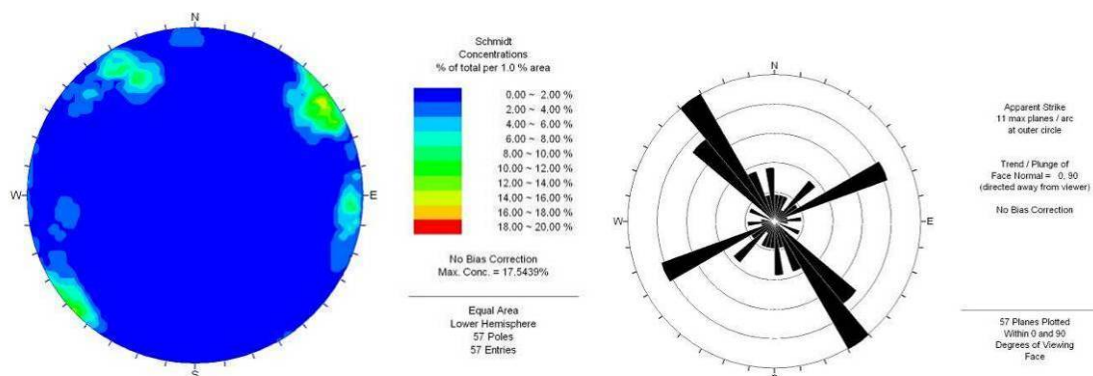


Figura 86 – Diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao *Talude dos Amores* (n=57).

Os valores de resistência à compressão uniaxial simples permitem caracterizar o maciço como tendo resistência média a elevada ( $S_3$  a  $S_2$ ), apontando -se para o intervalo 23 – 147 MPa (figura 87). Os valores médios para a classe de resistência  $S_2$  cifraram-se nos 93 MPa nas medições efectuadas no maciço rochoso, e nos 79 MPa nas medições efectuadas nas descontinuidades. Relativamente à classe de resistência predominante  $S_3$ , foram registados valores médios de 39 MPa no material rocha, e 48 MPa nas paredes das descontinuidades.

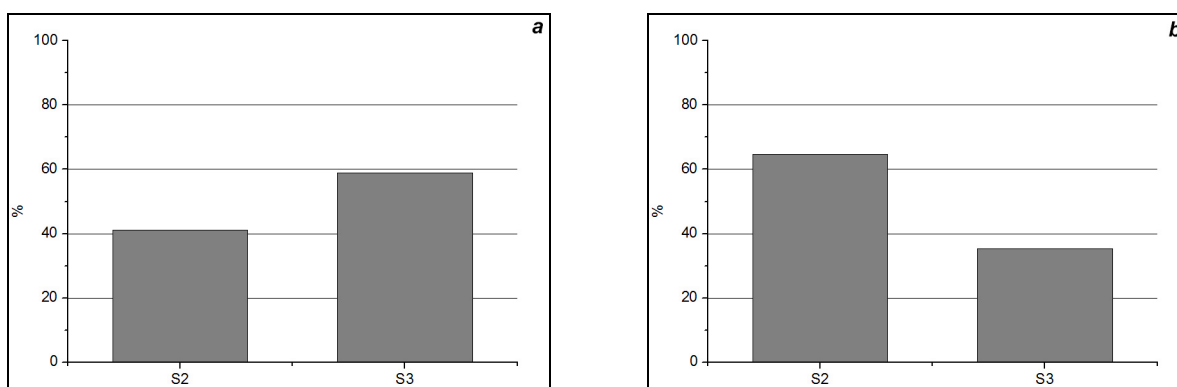


Figura 87 – Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades (a) e do material rocha (b) do *Talude dos Amores*.

A síntese relativa aos parâmetros geológico-geotécnicos registados no *Talude dos Amores*, bem como um resumo estatístico, são apresentados nos quadros 12 e 13. Na figura 88 apresentam-se alguns parâmetros relativos às características do referido talude.

Quadro 12 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do *Talude dos Amores*.

Talude AMORES					
AFLORAMENTO	Talude 1				
Litologia	Granito de grão médio a grosseiro				
Grau de Alteração	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>		
	18.00%	79.00%	4.00%		
Grau de Fracturação					
Tipo de descontinuidade	Falha	Diaclase			
	12.30%	87.70%			
Famílias principais	N 130° - 140° E; 75° - 85° SW				
	N 60° - 70° E; 60° - 80° SE				
	N 140° - 150° E; 65° - 85° SW				
Abertura	Fe.	Ab.	M.A.		
	86.00%	11.00%	4.00%		
Espaçamento	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>		
	54.00%	23.00%	23.00%		
Continuidade	M.P.C.	P.C.	M.C.		
	16.00%	53.00%	32.00%		
Terminação	R	D	O		
	25.00%	28.00%	47.00%		
Curvatura	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>		
	58.00%	40.00%	2.00%		
Rugosidade	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>		
	32.00%	68.00%	-		
Enchimento	Arg.	Ve./Ra. /Mat. Org.	Nen.		
	5.0%	16.0%	79.00%		
Presença de água	Não		Sim		
	91.00%		9.00%		
Resistência à compressão	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
Descontinuidades	-	41.20%	58.80%	-	-
Maciço	-	64.70%	35.30%	-	-

C <sub>1-2</sub>	Planas a ligeiramente curvas
C <sub>3</sub>	Curvas
C <sub>4-5</sub>	Muito curvas
R <sub>1-2</sub>	Lisas a algo rugosas
R <sub>3</sub>	Medianamente rugosas
R <sub>4-5</sub>	Muito rugosas
Qua.	Quartzo
Arg.	Argila
R. Esm.	Rocha esmagada
Ve.	Vegetação/Raízes/Matéria orgânica
Nen.	Nenhum
S <sub>1</sub>	Resistência muito elevada
S <sub>2</sub>	Resistência elevada
S <sub>3</sub>	Resistência média
S <sub>4</sub>	Resistência baixa
S <sub>5</sub>	Resistência muito baixa

Fe.	Fechada	M.P.C.	Muito pouco contínua
Ab.	Aberta	P.C.	Pouco contínua
M.A.	Muito aberta	M.C.	Medianamente contínua
F <sub>1-2</sub>	Muito afastadas a afastadas	R	Rocha
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas	D	Descontinuidade
F <sub>4-5</sub>	Próximas a muito próximas	O	Obscura

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).

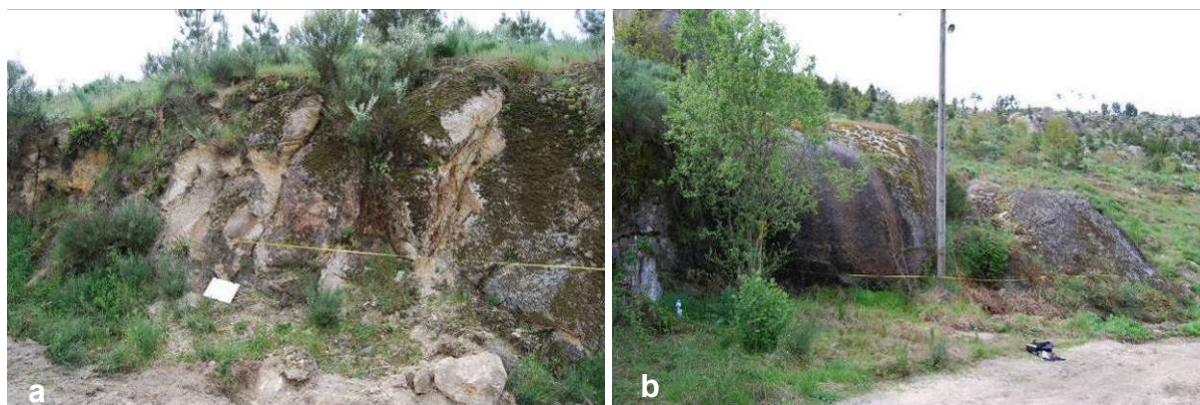


Figura 88 – Aspecto do maciço medianamente alterado (a) e de bloco rochoso com água escorrente (b) no *Talude dos Amores*.

Quadro 13 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Talude dos Amores.

Caldas da Cavaca (Talude Amores)																								
	Abertura (mm)			Continuidade (m)					Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Resistência - Maciço (Mpa)					Espaçamento médio por famílias (cm)			Grau de Fracturação (cm)		
	Valor médio global			Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global			Valor médio global		
Média	0,3			2,3					57,0					73,7					64,7			92,2		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N60°-70°E; 60°-80°SE	N140°-150°E; 65°-85°SW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	2,4	-	0,6	1,8	3,9	-	-	-	79,3	43,7	-	-	-	92,5	39,4	-	-	-	79,5	32,6	74,9	165,1	44,3
Moda	Global <0,1			Global 2,0					Global NA					Global NA					Global NA			Global 5,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N60°-70°E; 60°-80°SE	N140°-150°E; 65°-85°SW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	2,4	-	0,5	2,0	3,0	-	-	-	NA	NA	-	-	-	NA	NA	-	-	-	NA	25,0	NA	NA	25,0
Mediana	Global <0,1			Global 2,0					Global 56,5					Global 74,8					Global 51,0			Global 60,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N60°-70°E; 60°-80°SE	N140°-150°E; 65°-85°SW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	2,4	-	0,5	2,0	3,5	-	-	-	72,8	44,9	-	-	-	83,1	35,0	-	-	-	70,0	34,0	68,0	105,0	45,5
Mínimo	Global <0,1			Global 0,3					Global 23,5					Global 27,9					Global 10,0			Global 5,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N60°-70°E; 60°-80°SE	N140°-150°E; 65°-85°SW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	<0,1	2,4	-	0,3	2,0	3,0	-	-	-	65,5	23,5	-	-	-	66,8	27,9	-	-	-	75,0	10,0	13,0	77,0	25,0
Máximo	Global 2,4			Global 7,0					Global 123,3					Global 147,2					Global 165,0			Global 185,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N60°-70°E; 60°-80°SE	N140°-150°E; 65°-85°SW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,2	2,4	-	0,8	2,0	7,0	-	-	-	123,3	66,6	-	-	-	147,2	57,3	-	-	-	165,0	60,0	165,0	185,0	60,0
Desvio Padrão	Global 0,7			Global 1,4					Global 24,6					Global 33,5					Global 51,7			Global 52,6		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N60°-70°E; 60°-80°SE	N140°-150°E; 65°-85°SW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,0	0,0	-	0,2	0,5	1,2	-	-	-	20,5	13,7	-	-	-	25,2	11,5	-	-	-	64,2	19,3	54,9	33,5	13,7

NA - Não Aplicável

O Talude da Capela é composto por dois segmentos, de 10 e 22 m, onde foram medidas 13 e 37 descontinuidades correspondendo a 50 estações geológicas, respectivamente, com medição dos valores de resistência à compressão uniaxial simples em 14 estações geomecânicas. O grau de alteração (figura 89) observado neste talude é maioritariamente W<sub>3</sub> (medianamente alterado) com uma pequena percentagem dos valores (20%) a serem registados em rocha muito a completamente alterada (W<sub>4-5</sub>).

Da totalidade das estações geomecânicas registadas, 76% dos valores correspondem a descontinuidades do tipo diaclase e cerca de 24% a falhas (figura 89).

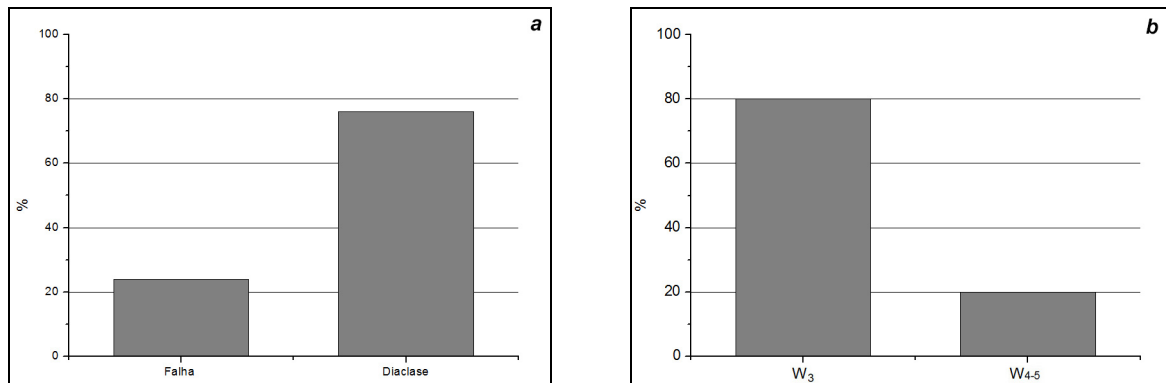


Figura 89 – Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração no Talude da Capela.

As descontinuidades estão, em geral, medianamente afastadas (F<sub>3</sub>, figura 90; 50%), tendo sido registados valores equivalentes médios, para esta classe, de 37,5 cm. As classes classes F<sub>1-2</sub> e F<sub>4-5</sub> apresentam representatividade idêntica, e valores médios de

espaçamento de 86,8 cm e 7,8 cm, respectivamente. Globalmente, no Talude da Capela registou-se um espaçamento médio de 36,1 cm.

Tal como no talude anterior, as descontinuidades neste local apresentam-se predominantemente fechadas (figura 90). No entanto, este domínio é menor (ca. 68%), registando-se um valor de abertura médio para esta classe de 0,1 mm. Verificou-se também a existência neste local de 26% de descontinuidades abertas e de 6% de descontinuidades muito abertas. Para todas as descontinuidades, o valor médio de abertura corresponde a 1,9 mm.

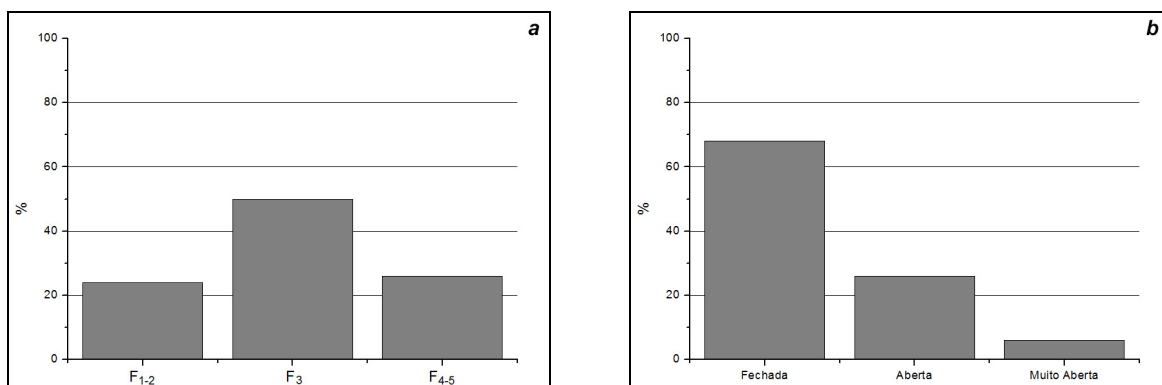


Figura 90 – Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do *Talude da Capela*.

Relativamente à continuidade, neste talude as descontinuidades são pouco contínuas (66%, com valor médio de 1,5 m) a muito pouco contínuas (30%, e valor médio de 0,6 m). As descontinuidades medianamente contínuas representam apenas 4% do total das descontinuidades registadas neste talude (figura 91), com um valor médio de 4,3 m.

O tipo de terminação das descontinuidades é, neste talude, predominantemente obscuro (48%). No entanto, registaram-se também 30% de descontinuidades com terminação noutra descontinuidade, e 22% com terminação em rocha (Figura 91).

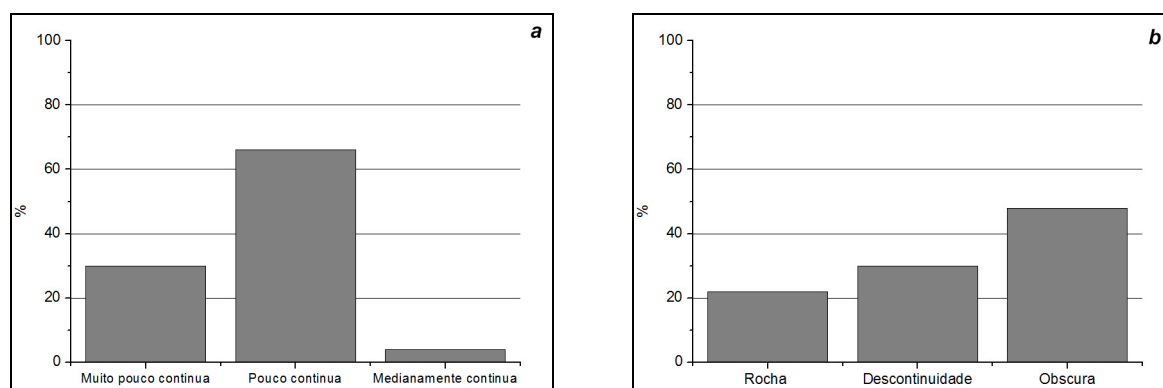


Figura 91 – Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades do *Talude da Capela*.

As descontinuidades medidas neste talude são, na sua maioria, planas a ligeiramente curvas e lisas a ligeiramente rugosas. Uma vez que uma parte do talude se encontra sob uma camada de solo residual, bem como de vegetação, o predomínio das descontinuidades sem enchimento é menor, surgindo, com valores mais ou menos idênticos, as

descontinuidades preenchidas com rocha esmagada e com raízes ou matéria orgânica (figura 92).

É ainda de registar que não foi notada qualquer presença de água nas descontinuidades medidas neste talude.

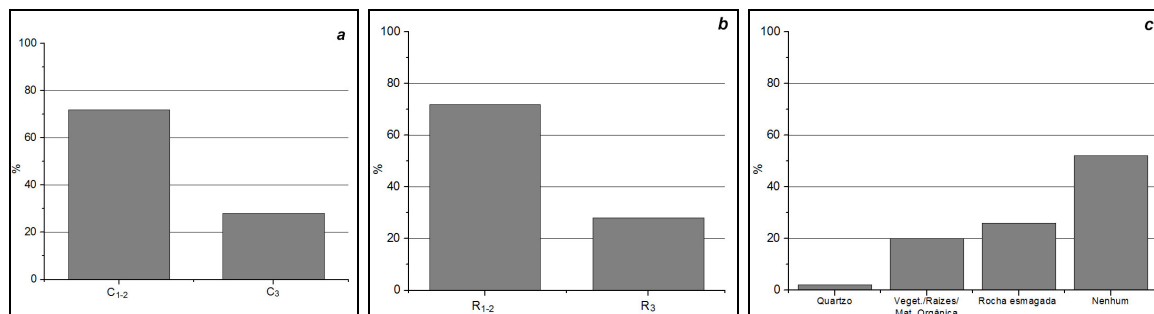


Figura 92 – Curvatura (a), rugosidade (b) e enchimento (c) das descontinuidades do *Talude da Capela*.

As principais famílias de descontinuidades neste talude correspondem às direcções N120°E a N140°E, com inclinações de 65°-85°SW e espaçamento médio de 31 cm, e N20°-40°E, com inclinações de 65°-85°SE com espaçamento médio de 43 cm (figura 93).

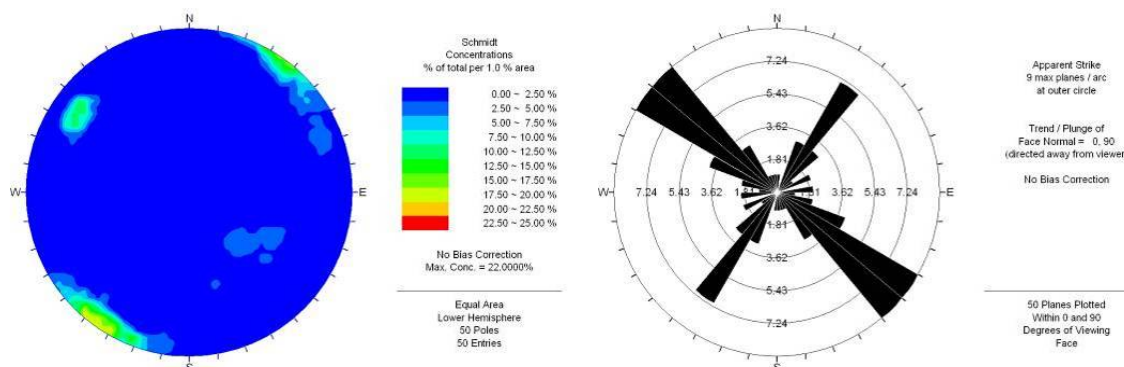


Figura 93 - Diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao *Talude da Capela* (n=50).

A resistência à compressão uniaxial simples registada no material rocha deste talude encontra-se inteiramente na classe de resistência média ( $S_3$ ) com um valor médio de 41,7 MPa. Os valores medidos nas superfícies das descontinuidades enquadram-se maioritariamente na classe de resistência média ( $S_3$ , com valor médio de 39,5 MPa), e apenas em 22% das estações geomecânicas medidas nas descontinuidades foi ultrapassado o valor de 60 MPa, que corresponde à classe de resistência elevada ( $S_2$ ), com um valor médio de 80,6 MPa (figura 94).

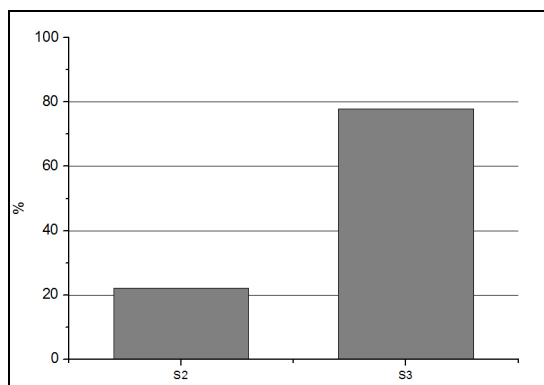


Figura 94 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do *Talude da Capela*.

Na figura 95 apresenta-se um aspecto do *Talude da Capela* e nos quadros 14 e 15 uma síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos e o respectivo resumo estatístico.

Quadro 14 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do *Talude da Capela*.

Talude CAPELA																		
AFLORAMENTO	Talude 1					Talude 2					Talude 1/2							
Litologia	Granito de grão médio a grosseiro					Granito de grão grosseiro					Granito de grão médio a grosseiro							
Grau de Alteração	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>			
	-	62%	38%	-	86.00%	14.00%	-	80.00%	20.00%	-	80.00%	20.00%	-	80.00%	20.00%			
Grau de Fracturação																		
Tipo de descontinuidade	Falha		Diaclase			Falha		Diaclase			Falha		Diaclase					
	15.40%		84.60%			27.00%		73.00%			24.00%		76.00%					
Famílias principais	N 130° - 140° E; 65° - 85° NE					N 120° - 130° E; 65° - 85° SW					N 120° - 140° E; 65° - 85° SW							
	N 20° - 40° E; 50° - 70° NW					N 130° - 150° E; 75° - 85° SW					N 130° - 150° E; 65° - 85° SW							
Abertura	N 110° - 130° E; 65° - 85° NE					N 30° - 40° E; 70° - 80° SE					N 20° - 40° E; 65° - 85° SE							
	Fe.	Ab.	M.A.	Fe.	Ab.	M.A.	Fe.	Ab.	M.A.	Fe.	Ab.	M.A.	Fe.	Ab.	M.A.			
	62.00%	38.00%	-	70.00%	22.00%	8.00%	68.00%	26.00%	6.00%	68.00%	26.00%	6.00%	68.00%	26.00%	6.00%			
Espaçamento	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>			
	39.00%	31.00%	30.00%	24.00%	57.00%	19.00%	24.00%	50.00%	26.00%	24.00%	50.00%	26.00%	24.00%	50.00%	26.00%			
Continuidade	M.P.C.	P.C.	M.C.	M.P.C.	P.C.	M.C.	M.P.C.	P.C.	M.C.	M.P.C.	P.C.	M.C.	M.P.C.	P.C.	M.C.			
	54.00%	31.00%	15.00%	22.00%	78.00%	-	30.00%	66.00%	4.00%	30.00%	66.00%	4.00%	30.00%	66.00%	4.00%			
Terminação	R	D	O	R	D	O	R	D	O	R	D	O	R	D	O			
	31.00%	23.00%	46.00%	19.00%	38.00%	43.00%	22.00%	30.00%	48.00%	22.00%	30.00%	48.00%	22.00%	30.00%	48.00%			
Curvatura	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>			
	54.00%	46.00%	-	81.00%	19.00%	-	72.00%	28.00%	-	72.00%	28.00%	-	72.00%	28.00%	-			
Rugosidade	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>			
	100.00%	-	-	62.00%	38.00%	-	72.00%	28.00%	-	72.00%	28.00%	-	72.00%	28.00%	-			
Enchimento	Qua.	Arg.	R. Esm.	Ve.	Nen.	Qua.	Ve./R./Mat. O.	R. Esm.	Nen.	Qua.	Ve./R./Mat. O.	R. Esm.	Nen.	Qua.	Ve./R./Mat. O.			
	-	-	38.00%	-	62.00%	3.00%	14.00%	35.00%	49.00%	2.00%	20.00%	26.00%	52.00%	2.00%	20.00%			
Presença de água	Não					Sim					Não				Sim			
	100%					-					100%				-			
Resistência à compressão	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>			
Descontinuidades	-	67%	33%	-	-	-	-	100.00%	-	-	-	22.20%	77.80%	-	-			
Maciço	-	-	-	-	-	-	-	100.00%	-	-	-	-	100.00%	-	-			
Fe.	Fechada					M.P.C. Muito pouco contínua												
Ab.	Aberta					P.C. Pouco contínua												
M.A.	Muito aberta					M.C. Medianamente contínua												
F <sub>1-2</sub>	Muito afastadas a afastadas					R Rocha												
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas					D Descontinuidade												
F <sub>4-5</sub>	Próximas a muito próximas					O Obscura												
C <sub>1-2</sub>	Planas a ligeiramente curvas					Qua. Quartzo					S <sub>1</sub>	Resistência muito elevada						
C <sub>3</sub>	Curvas					Arg. Argila					S <sub>2</sub>	Resistência elevada						
C <sub>4-5</sub>	Muito curvas					R. Esm. Rocha esmagada					S <sub>3</sub>	Resistência média						
R <sub>1-2</sub>	Lisas a algo rugosas					Ve. Vegetação/Raízes/Matéria orgânica					S <sub>4</sub>	Resistência baixa						
R <sub>3</sub>	Medianamente rugosas					Nen. Nenhum					S <sub>5</sub>	Resistência muito baixa						
R <sub>4-5</sub>	Muito rugosas																	

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).





Figura 95 – Aspecto do maciço alterado no *Talude da Capela*(a), e aspecto de pormenor de um plano de falha ainda bem visível na matriz alterada do maciço (b).

Quadro 15 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do *Talude da Capela*.

Caldas da Cavaca ( <i>Talude Capela</i> )																											
	Abertura (mm)			Continuidade (m)					Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Resistência - Maciço (Mpa)					Espaçamento médio por famílias(cm)			Grau de Fracturação (cm)					
	Global	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N120°-140°E; 65°-85°SW	N130°-150°E; 65°-85°SW	N20°-40°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>		
<b>Média</b>	Valor médio global			Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global			Valor médio global					
	1,9			1,3					48,6					41,7					41,3			36,1					
	0,1	4,6	-	0,6	1,5	4,3	-	-	-	80,6	39,5	-	-	-	-	-	-	-	-	41,7	-	-	32,5	30,6	43,0	86,8	37,5
<b>Moda</b>	Global			Global					Global					Global					Global			Global					
	<0,1			1,5					NA					NA					30,0			30,0					
	0,1	4,6	-	0,6	1,5	4,3	-	-	-	80,6	39,5	-	-	-	-	-	-	-	-	41,7	-	-	32,5	30,6	43,0	86,8	37,5
<b>Mediana</b>	Global			Global					Global					Global					Global			Global					
	<0,1			1,5					50,4					44,5					32,5			30,0					
	0,1	4,6	-	0,6	1,5	4,3	-	-	-	80,6	39,5	-	-	-	-	-	-	-	-	41,7	-	-	32,5	30,6	43,0	86,8	37,5
<b>Mínimo</b>	Global			Global					Global					Global					Global			Global					
	<0,1			0,2					24,9					32,8					8,0			2,0					
	0,1	4,6	-	0,6	1,5	4,3	-	-	-	80,6	39,5	-	-	-	-	-	-	-	-	41,7	-	-	32,5	30,6	43,0	86,8	37,5
<b>Máximo</b>	Global			Global					Global					Global					Global			Global					
	9,0			5,0					91,9					48,6					140,0			205,0					
	0,4	9,0	-	0,8	2,5	5,0	-	-	-	91,9	56,2	-	-	-	-	-	-	-	-	48,6	-	-	140,0	60,0	75,0	205,0	60,0
<b>Desvio Padrão</b>	Global			Global					Global					Global					Global			Global					
	3,4			0,8					22,4					6,7					31,4			38,8					
	0,1	3,2	-	0,2	0,4	1,1	-	-	-	15,9	13,8	-	-	-	-	-	-	-	-	6,7	-	-	40,8	23,0	25,6	59,8	11,5

NA - Não Aplicável

O *Talude da Lagoa* é composto por dois segmentos, de 39 e 268 m, onde foram medidas 54 e 183 descontinuidades (totalizando 237 estações geológicas), respectivamente, em superfícies de rocha maioritariamente (89,9%) medianamente alterada (W<sub>3</sub>). Destas descontinuidades, um pouco mais de 90% correspondem a diaclases, e as restantes a falhas (Figura 96).

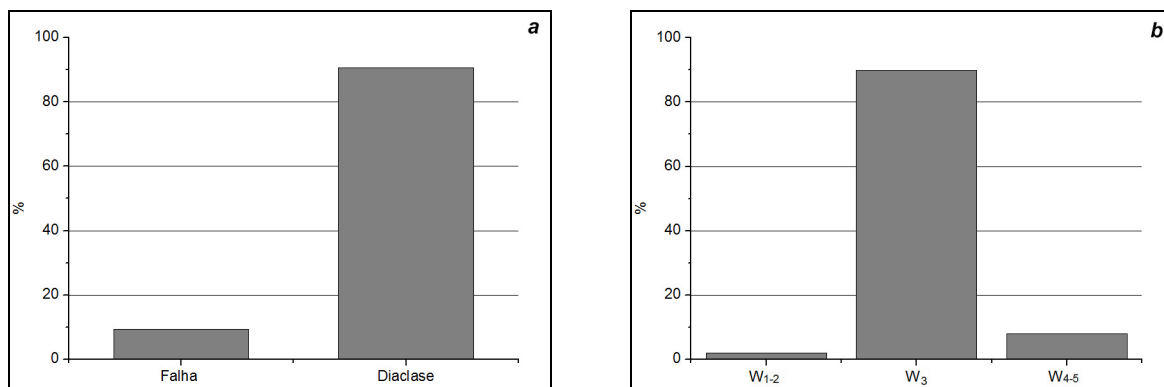


Figura 96 - Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração no *Talude da Lagoa*.

As descontinuidades no *Talude da Lagoa* encontram-se afastadas ( $F_{1-2}$ , média de 112,7 cm; 47 %) a medianamente afastadas ( $F_3$ , 41,6 cm em média; 35%) e, com muito menos frequência, próximas a muito próximas (com um valor médio de 7,8 cm). O espaçamento médio global para este talude é de 93,1 cm. A maioria das descontinuidades medidas (Figura 97) apresenta-se fechada (91,1%). Os 8,9% de descontinuidades restantes (abertas e muito abertas) contribuem para uma abertura média, neste talude, de 0,6 mm.

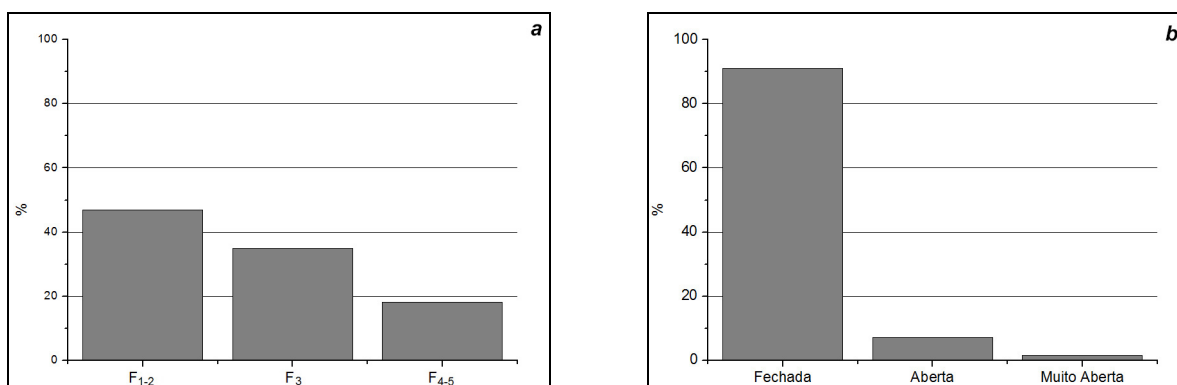


Figura 97 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do *Talude da Lagoa*.

Relativamente à continuidade, neste talude as descontinuidades são pouco contínuas (52,7%, com valor médio de 1,6 m) a muito pouco contínuas (35,4%, e valor médio de 0,5 m). As descontinuidades medianamente contínuas representam apenas 16% do total das descontinuidades registadas neste talude, com um valor médio de 4,1 m. A terminação das descontinuidades neste local apresenta-se repartida entre os três tipos de classes (R-Rocha, D-Descontinuidade, O-Obscura), notando-se um ligeiro destaque para as descontinuidades com terminação obscura (Figura 98).

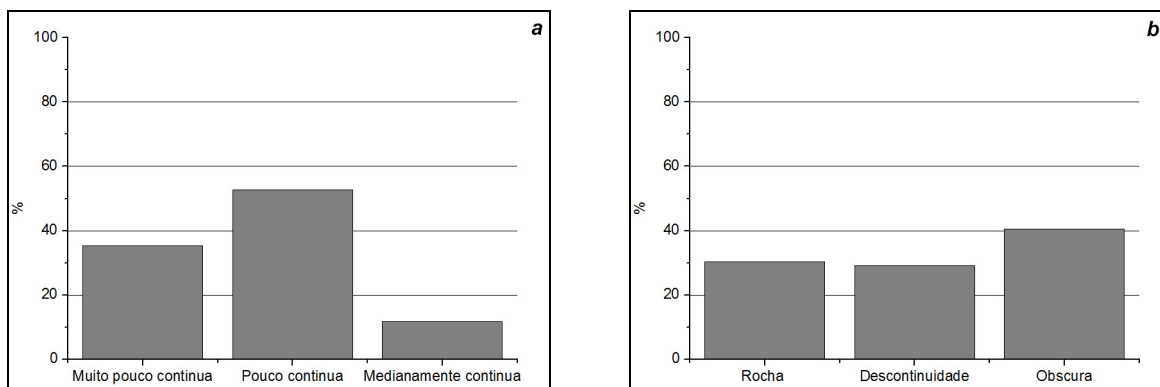


Figura 98 - Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades do *Talude da Lagoa*.

A curvatura das descontinuidades medidas neste talude (Figura 99) é maioritariamente plana a ligeiramente curva, C<sub>1-2</sub> (66,2%) a curva, C<sub>3</sub> (31,1%) e, no geral, não foram registadas neste talude descontinuidades muito curvas. As descontinuidades registadas apresentam-se maioritariamente lisas a algo rugosas (57%) e medianamente rugosas (38%). Praticamente não se registaram descontinuidades muito rugosas (Figura 99).

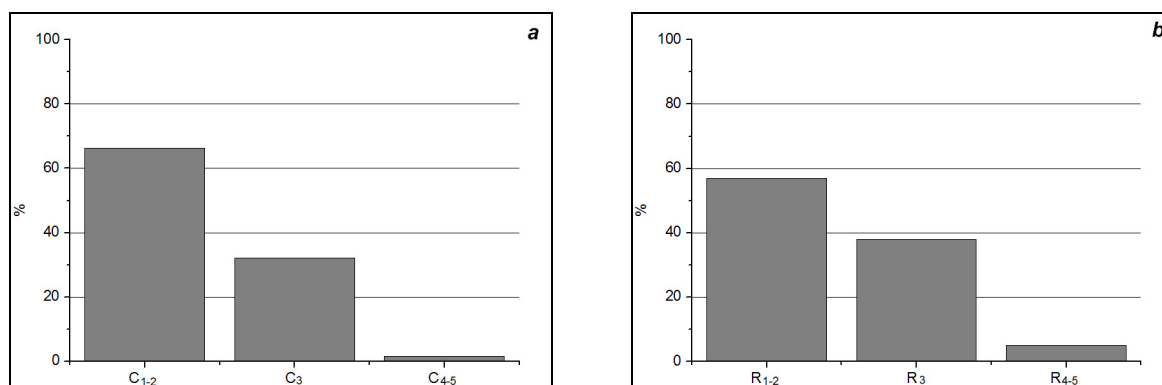


Figura 99 - Curvatura (a) e rugosidade (b) das descontinuidades do *Talude da Lagoa*.

A maioria das descontinuidades não apresenta qualquer enchimento (84,8%). Quando este está presente é constituído, em geral, por rocha esmagada ou argila, e mais raramente, por raízes, vegetação, matéria orgânica ou quartzo (Figura 100).

A presença de água registada nas descontinuidades foi mais frequente neste local, em especial no segundo sector do *Talude da Lagoa*, tendo sido registada em mais de 50% das descontinuidades. Tal facto fica a dever-se à maior presença de água nesta vertente (foi inventariada uma nascente de água a uma cota superior na vertente do talude analisado), e também à queda de precipitação nos dias anteriores ao levantamento do talude.

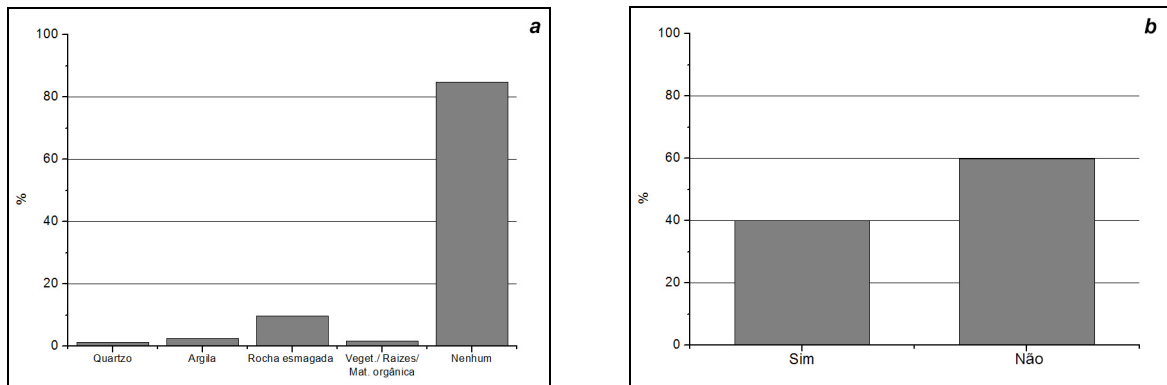


Figura 100 - Enchimento (a) e presença de água (b) nas descontinuidades do *Talude da Lagoa*.

As atitudes preferenciais de fracturação do maciço correspondem a duas famílias subverticais:  $N40^{\circ}-60^{\circ}E$ ,  $60^{\circ}-80^{\circ}SE$  e à sua conjugada  $N130^{\circ}-150^{\circ}E$ ;  $75^{\circ}-85^{\circ}NE$  (Figura 101). O espaçamento médio registado para estas famílias de descontinuidades foi de 85,5 cm e 87,5 cm, respectivamente.

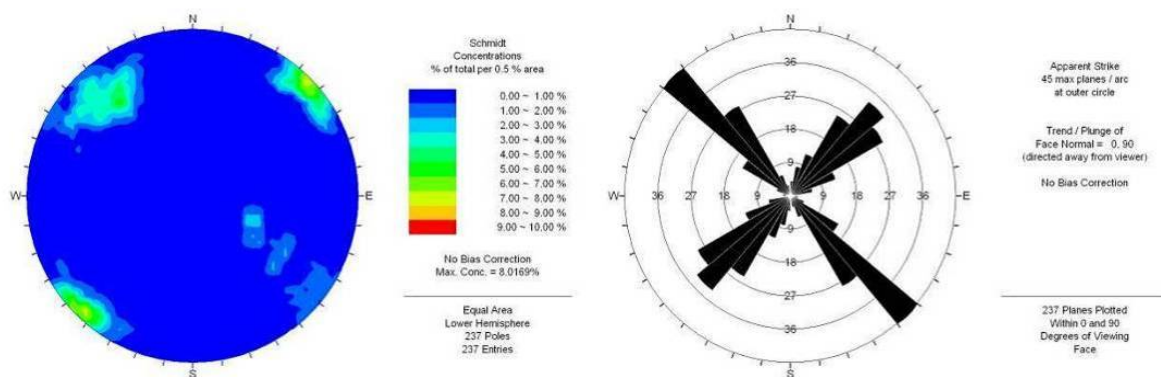


Figura 101 - Diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao *Talude da Lagoa* (n=237).

Foram realizadas, neste talude, 45 estações geomecânicas com ensaios esclerométricos na matriz do maciço rochoso, e 39 estações geomecânicas nas paredes das descontinuidades. A grande extensão do talude cartografado (aproximadamente 307 m) faz com que as variações na resistência da rocha, medida nas estações geomecânicas seja também díspar, variando desde valores próximos dos 18 MPa (em 2 estações geomecânicas), até valores próximos dos 195 MPa. Os valores registados de resistência à compressão uniaxial (Figura 102) permitem caracterizar o material rocha como tendo resistência média a elevada ( $S_3$  a  $S_2$ ), tendo-se registado valores médios de 40,4 MPa e 95,9 MPa, respectivamente. Na superfície das descontinuidades predominam valores que se enquadram na classe de resistência média (valores médios de 37,2 MPa). Menos representativos, mas ainda com alguma importância (28,9%), registam-se os valores de resistência elevada  $S_2$ , com valores médios de 98,9 MPa.

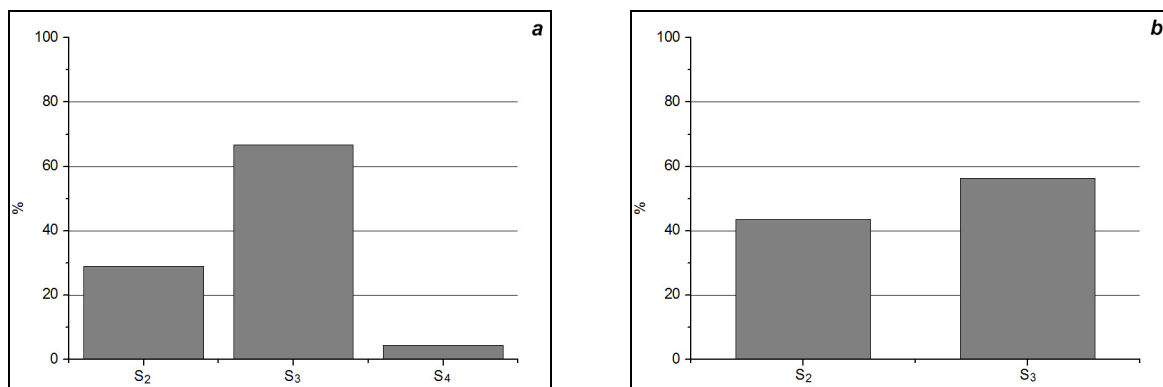


Figura 102 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades (a) e do material rocha (b) do Talude da Lagoa.

Na figura 103 apresentam-se diversos aspectos que caracterizam o Talude da Lagoa e nos quadros 16 e 17 mostra-se uma síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos assim como o respectivo resumo estatístico.

Quadro 16 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Talude da Lagoa.

Talude LAGOA																							
AFLORAMENTO	Talude 1					Talude 2					Talude 1/2												
Litologia	Granito de grão grosseiro, duas micas					Granito de grão grosseiro, duas micas					Granito de grão grosseiro, duas micas												
Grau de Alteração	W <sub>1,2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4,5</sub>	W <sub>1,2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4,5</sub>	W <sub>1,2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4,5</sub>	W <sub>1,2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4,5</sub>	W <sub>1,2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4,5</sub>								
	-	85.00%	15.00%	3.00%	91.00%	6.00%	2.00%	90.00%	8.00%														
Grau de Fracturação																							
Tipo de descontinuidade	Falha		Diaclase			Falha		Diaclase			Falha		Diaclase										
	9.30%		90.70%			9.30%		90.70%			9.30%		90.70%										
Famílias principais	N 130° - 140°E; 75° - 85°SW; N 35° - 55°E; 70° - 85°SE					N 130° - 150°E; 75° - 85°NE; N 40° - 60°E; 60° - 75°SE					N 130° - 150°E; 75° - 85°NE; N 40° - 60°E; 60° - 80°SE												
Abertura	Fe.	Ab.	M.A.	Fe.	Ab.	M.A.	Fe.	Ab.	M.A.	Fe.	Ab.	M.A.	Fe.	Ab.	M.A.								
	87.00%	17.00%	-	92.00%	5.00%	2.00%	91.00%	7.00%	2.00%	91.00%	7.00%	2.00%	91.00%	7.00%	2.00%								
Espaçamento	F <sub>1,2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4,5</sub>	F <sub>1,2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4,5</sub>	F <sub>1,2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4,5</sub>	F <sub>1,2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4,5</sub>	F <sub>1,2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4,5</sub>								
	52.00%	35.00%	13.00%	45.00%	35.00%	20.00%	47.00%	35.00%	18.00%	47.00%	35.00%	18.00%	47.00%	35.00%	18.00%								
Continuidade	M.P.C.	P.C.	M.C.	M.P.C.	P.C.	M.C.	M.P.C.	P.C.	M.C.	M.P.C.	P.C.	M.C.	M.P.C.	P.C.	M.C.								
	37.00%	48.00%	15.00%	35.00%	54.00%	11.00%	35.00%	53.00%	12.00%	35.00%	53.00%	12.00%	35.00%	53.00%	12.00%								
Terminação	R	D	O	R	D	O	R	D	O	R	D	O	R	D	O								
	35.00%	35.00%	30.00%	29.00%	27.00%	44.00%	30.00%	29.00%	41.00%	30.00%	29.00%	41.00%	30.00%	29.00%	41.00%								
Curvatura	C <sub>1,2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4,5</sub>	C <sub>1,2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4,5</sub>	C <sub>1,2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4,5</sub>	C <sub>1,2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4,5</sub>	C <sub>1,2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4,5</sub>								
	74.00%	35.00%	30.00%	64.00%	34.00%	2.00%	66.00%	32.00%	2.00%	66.00%	32.00%	2.00%	66.00%	32.00%	2.00%								
Rugosidade	R <sub>1,2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4,5</sub>	R <sub>1,2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4,5</sub>	R <sub>1,2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4,5</sub>	R <sub>1,2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4,5</sub>	R <sub>1,2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4,5</sub>								
	61.00%	26.00%	13.00%	56.00%	42.00%	3.00%	57.00%	38.00%	5.00%	57.00%	38.00%	5.00%	57.00%	38.00%	5.00%								
Enchimento	Qua.	Arg.	R. Esm.	Ve.	Nen.	Qua.	Arg.	R. Esm.	Ve./R./Mat. O.	Nen.	Qua.	Arg.	R. Esm.	Ve./R./Mat. O.	Nen.								
	2.00%	-	4.00%	2.00%	93.00%	1.00%	3.00%	11.00%	2.00%	82.00%	1.00%	3.00%	23.00%	2.00%	85.00%								
Presença de água	Não					Sim					Não					Sim							
	100.00%					48.00%					52.00%					60.00%				40.00%			
Resistência à compressão	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>								
Descontinuidades	-	7.10%	92.90%	-	-	-	38.80%	54.80%	6.40%	-	-	25.50%	70.60%	3.90%	-								
Maciço	-	22.20%	77.80%	-	-	-	50.00%	50.00%	-	-	-	51.10%	48.90%	-	-								

Fe.	Fechada	M.P.C.	Muito pouco contínua
Ab.	Aberta	P.C.	Pouco contínua
M.A.	Muito aberta	M.C.	Medianamente contínua
F <sub>1,2</sub>	Muito afastadas a afastadas	R	Rocha
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas	D	Descontinuidade
F <sub>4,5</sub>	Próximas a muito próximas	O	Obscura

C <sub>1,2</sub>	Planas a ligeiramente curvas	Qua.	Quartzo	S <sub>1</sub>	Resistência muito elevada
C <sub>3</sub>	Curvas	Arg.	Argila	S <sub>2</sub>	Resistência elevada
C <sub>4,5</sub>	Muito curvas	R. Esm.	Rocha esmagada	S <sub>3</sub>	Resistência média
R <sub>1,2</sub>	Lisas a algo rugosas	Ve.	Vegetação/Raízes/Matéria orgânica	S <sub>4</sub>	Resistência baixa
R <sub>3</sub>	Medianamente rugosas	Nen.	Nenhum	S <sub>5</sub>	Resistência muito baixa
R <sub>4,5</sub>	Muito rugosas				

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).

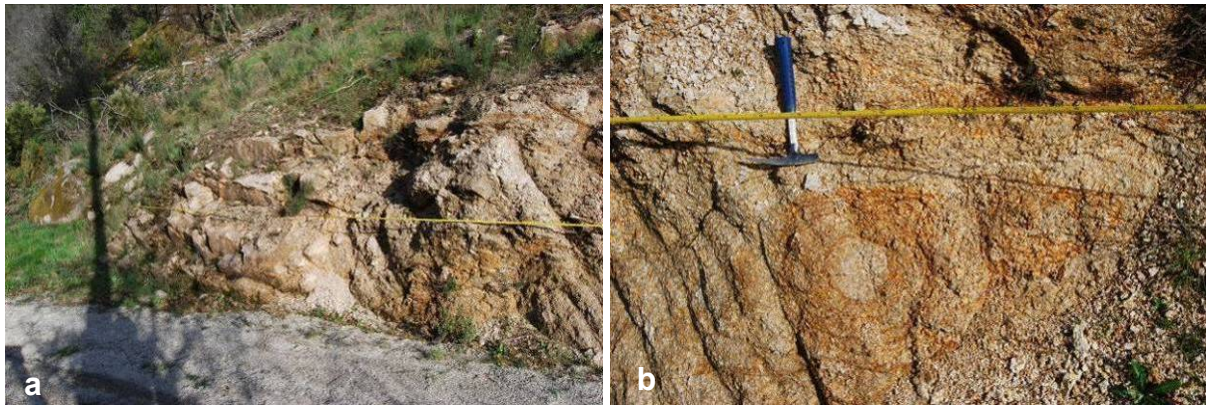


Figura 103 – Aspecto da fracturação *Talude da Lagoa* (a) e aspecto do maciço alterado  $W_3$  (b).

Quadro 17 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do *Talude da Lagoa*.

Caldas da Cavaca ( <i>Talude Lagoa</i> )																							
	Abertura (mm)			Continuidade (m)				Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Resistência - Maciço (Mpa)					Espaçamento médio por famílias (cm)		Grau de Fracturação (cm)			
	Valor médio global			Valor médio global				Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global		Valor médio global			
Média	0,6			1,5				55,6					64,6					86,1		93,1			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-150°E; 75°-85°NE	N40°-60°E; 60°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	6,7	-	0,5	1,6	4,1	-	-	-	98,9	37,2	17,5	-	-	95,9	40,4	-	-	87,5	85,5	112,7	41,6	13,7
Moda	Global			Global				Global					Global					Global		Global			
	0,5			2,0				NA					NA					NA		100,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N60°-70°E; 60°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,1	9,0	-	0,5	1,5	5,0	-	-	-	NA	NA	NA	-	-	NA	NA	-	-	110,0	NA	100,0	NA	NA	
Mediana	Global			Global				Global					Global					Global		Global			
	<0,1			1,0				46,1					53,1					80,0		90,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N60°-70°E; 60°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,1	9,0	-	0,5	1,5	4,0	-	-	-	84,7	41,8	17,5	-	-	81,8	38,2	-	-	90,0	80,0	110,0	45,0	15,0	
Mínimo	Global			Global				Global					Global					Global		Global			
	<0,1			0,1				16,9					25,3					10,0		10,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N60°-70°E; 60°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
<0,1	2,4	-	0,1	1,0	3,0	-	-	-	62,7	24,0	16,9	-	-	61,8	25,3	-	-	60,0	10,0	40,0	30,0	10,0	
Máximo	Global			Global				Global					Global					Global		Global			
	10,0			6,0				156,9					195,4					170,0		200,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N60°-70°E; 60°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,3	10,0	-	0,9	2,5	6,0	-	-	-	72,8	57,8	18,1	-	-	195,4	59,4	-	-	110,0	170,0	200,0	60,0	20,0	
Desvio Padrão	Global			Global				Global					Global					Global		Global			
	1,9			1,2				33,6					38,5					46,6		52,8			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N60°-70°E; 60°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,0	3,4	-	0,1	0,5	0,9	-	-	-	31,7	9,0	0,9	-	-	39,2	10,1	-	-	26,3	53,9	44,3	12,1	7,1	

NA - Não Aplicável

Por fim, no *Talude da Cancela*, localizado a cerca de 500 m a NNE do estabelecimento termal das Caldas da Cavaca, foram cartografados, em 2 segmentos de 39 e 11 m, 44 e 19 (totalizando 63 estações geológicas) descontinuidades no maciço rochoso respectivamente, das quais apenas 3,2% correspondem a estruturas do tipo falha (figura 104). O maciço rochoso encontra-se medianamente alterado ( $W_3$ ), podendo raras vezes (7,9%) classificar-se como muito alterado a decomposto ( $W_{4-5}$ ).

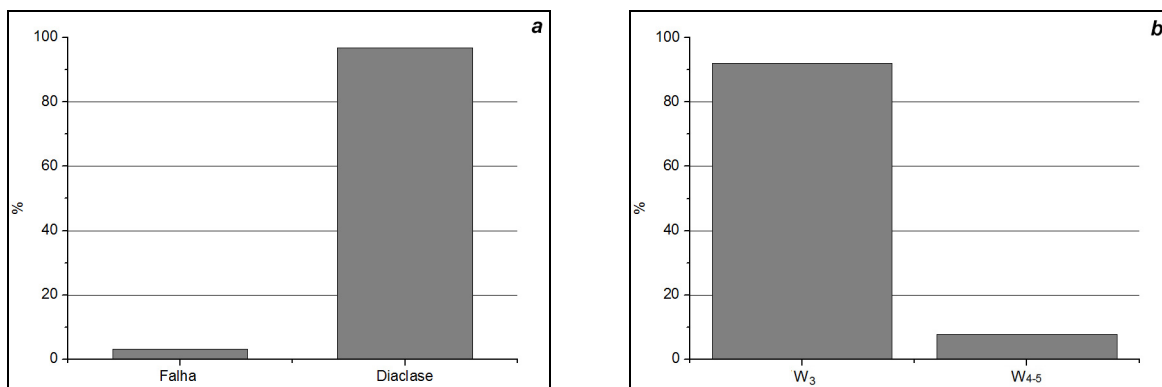


Figura 104 - Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração no *Talude da Cancela*.

As descontinuidades encontram-se medianamente afastadas a afastadas, classificando-se cerca de 73% das descontinuidades nas classes  $F_{1-2}$  e  $F_3$ . Os valores médios para as classes dos graus de fracturação  $F_{1-2}$ ,  $F_3$  e  $F_{4-5}$  são de 112,6 cm, 40,0 cm e 10,5 cm, respectivamente, e em termos globais, para todas as descontinuidades do talude, o valor de espaçamento médio estima-se em nos 66,2 cm. Em mais de 90% dos casos (Figura 105), essas descontinuidades apresentam-se fechadas, a que corresponde uma abertura média global de 0,1 mm.

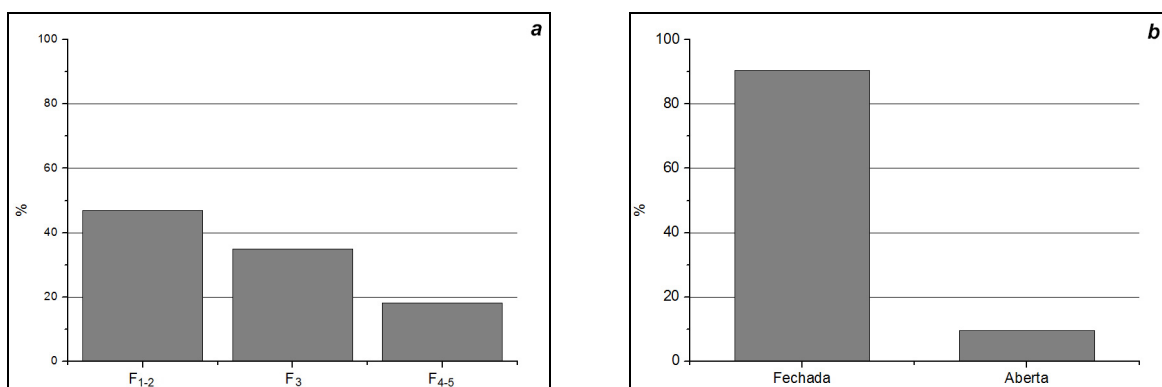


Figura 105 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do *Talude da Cancela*.

O tipo de terminação das descontinuidades é, neste talude, predominantemente obscuro, apresentando-se os outros dois tipos de terminação (rocha e descontinuidade) com um peso relativo idêntico (ca. de 20%). Em termos de continuidade, registaram-se neste talude, sobretudo, descontinuidades pouco contínuas (58,7%, com valor médio de 2,0 m). As descontinuidades medianamente contínuas e muito pouco contínuas apresentam valores médios de 4,5 m e 0,8 m, respectivamente (Figura 106).

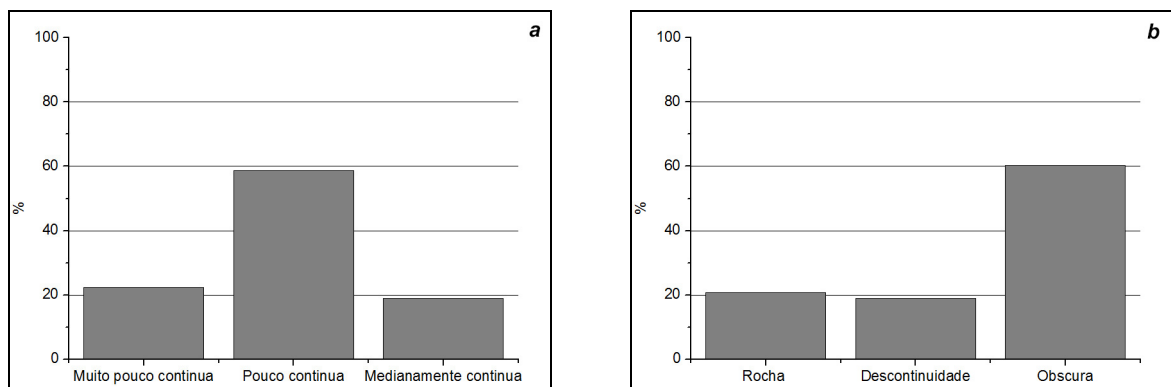


Figura 106 - Continuidade (a) e terminação (b) das das descontinuidades do *Talude da Cancela*.

As descontinuidades encontram-se, tal como nos taludes anteriores, maioritariamente (90,5%) sem enchimento (Figura 107). Na sua maioria, as descontinuidades são planas a ligeiramente curvas ( $C_{1-2}$  a  $C_3$ ), bem como lisas a ligeiramente rugosas ( $R_{1-2}$  a  $R_3$ ), não tendo sido registada a presença de água em nenhuma das descontinuidades medidas.

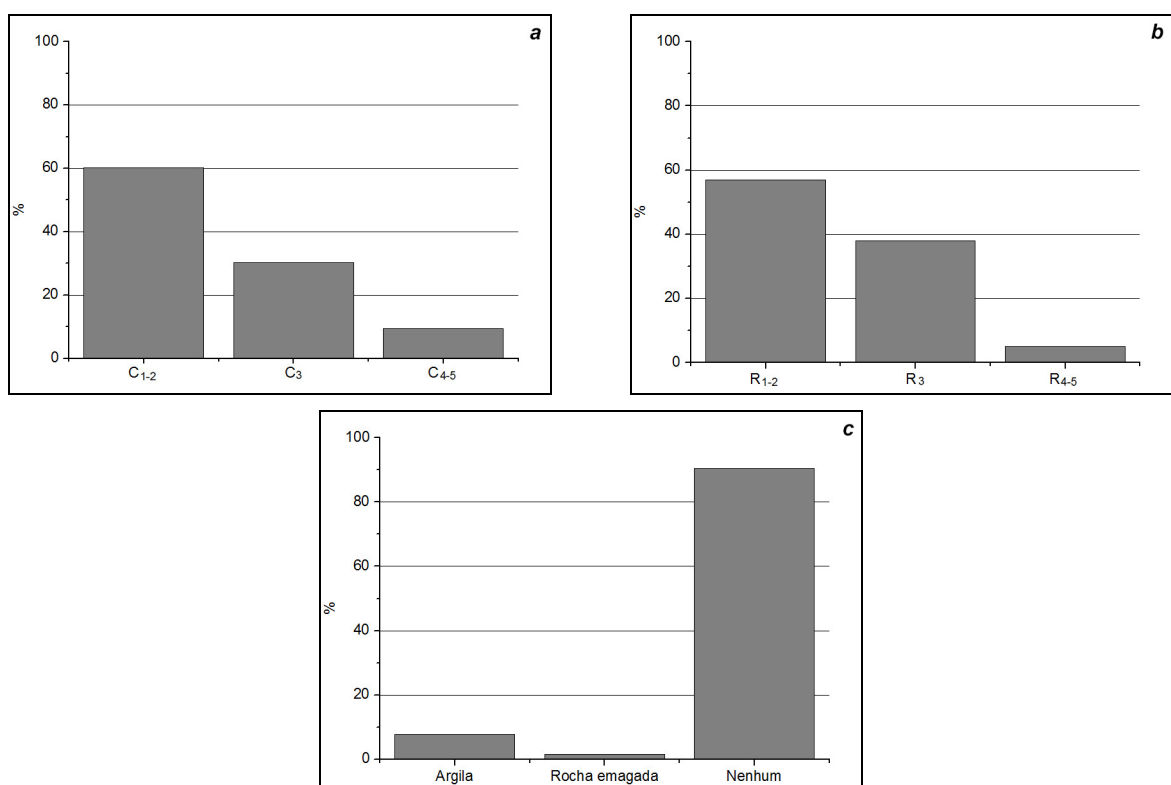


Figura 107 - Curvatura (a), rugosidade (b) e enchimento (c) das descontinuidades do *Talude da Cancela*.

As principais famílias identificadas (Figura 108) correspondem às direcções N130°E a N150°E, sub-verticais, e N 25°-45° E, com inclinações de 65° e 85°SE, e com espaçamentos médios de 67,5 cm e 46,7 cm, respectivamente.



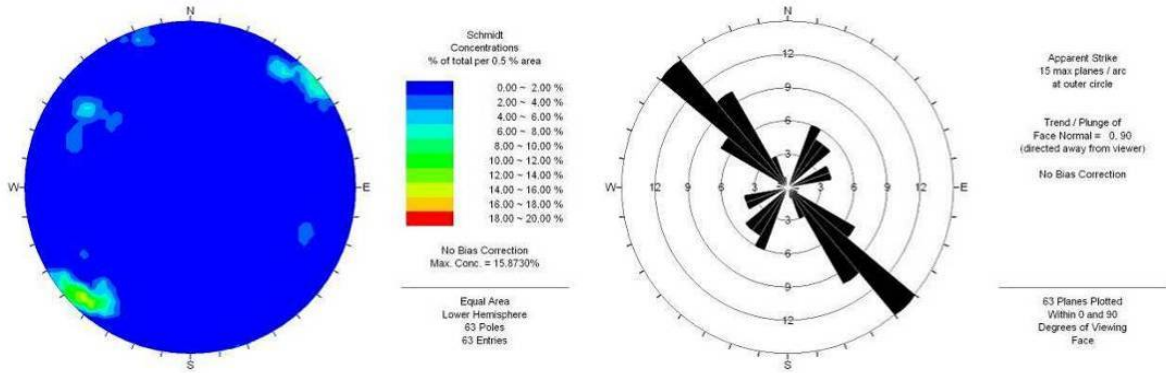


Figura 108 - Diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao *Talude da Cancela* (n=63).

Neste talude foram realizadas 16 estações geomecânicas nas superfícies das descontinuidades e 11 estações no material-rocha do maciço rochoso. Os valores registados de resistência à compressão uniaxial simples apresentam valores mais baixos que nos restantes taludes (Figura 109). No maciço rochoso a resistência varia entre média a baixa ( $S_3$  a  $S_4$ ), com valores médios de 27,9 MPa e 15,4 MPa, respectivamente. Nas descontinuidades, a resistência varia entre baixa a elevada ( $S_4$  a  $S_2$ ), tendo a resistência elevada sido apenas registada em 6,25% dos casos, com um valor médio de 61,5 MPa. Nas classes  $S_3$  e  $S_4$  registaram-se valores médios de 31,5 MPa e 15,3 MPa.

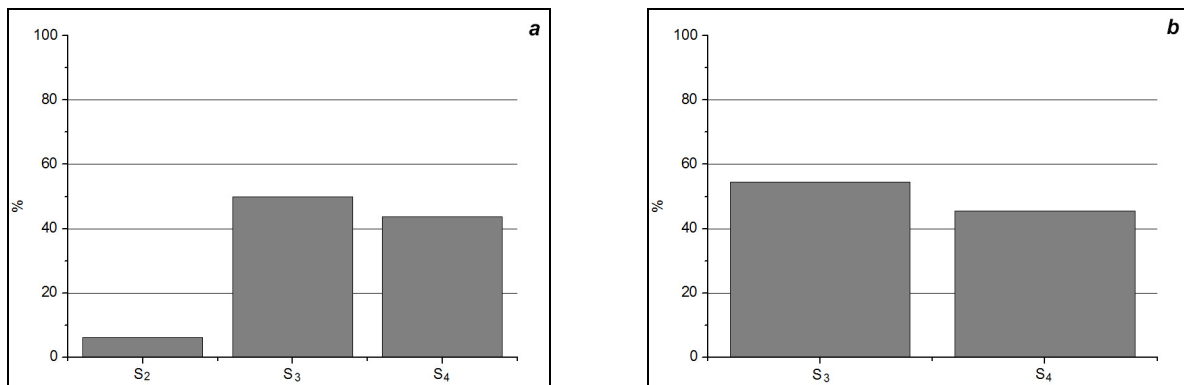


Figura 109 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades (a) e do material rocha (b) do *Talude da Cancela*.

Na Figura 110 apresenta-se um aspecto do *Talude da Cancela* e nos quadros 18 e 19 mostra-se uma síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos e o seu resumo estatístico.

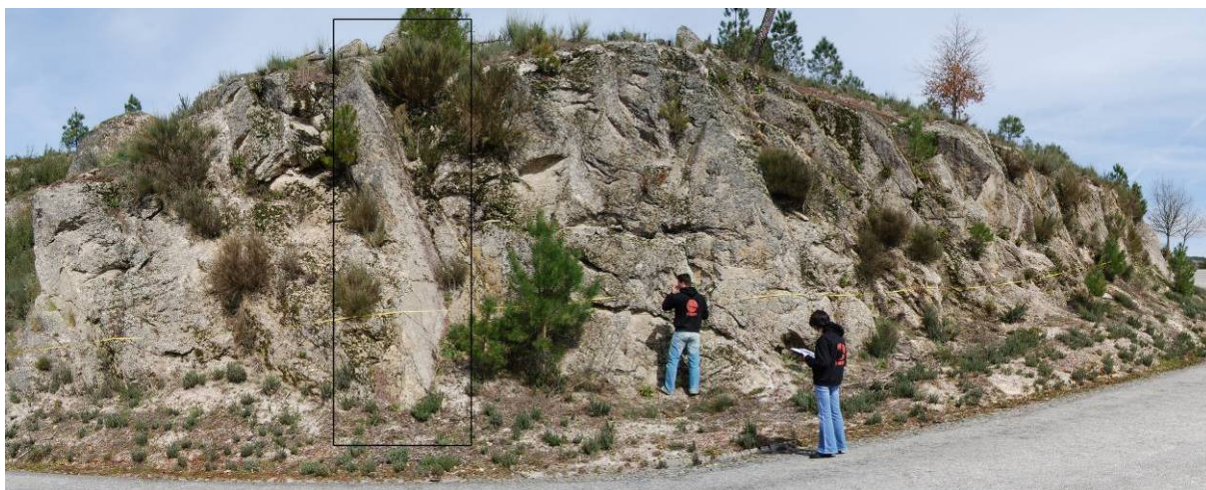


Figura 110 – Aspecto de parte do *Talude da Cancela*, onde se identifica uma falha da principal família de fracturação (N 25°-45°E, 85° SE).

Quadro 18 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do *Talude da Cancela*.

Talude CANCELA															
AFLORAMENTO	Talude 1					Talude 2			Talude 1/2						
Litologia	Granito de grão grosseiro, duas micas					Granito de grão grosseiro, duas micas			Granito de grão grosseiro, duas micas						
Grau de Alteração	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>		W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>					
	-	89.00%	11.00%		-	100.00%	-	-	92.00%	8.00%					
Grau de Fracturação															
Tipo de descontinuidade	Falha		Diaclase			Falha		Diaclase			Falha		Diaclase		
	4.50%		95.50%			-		100.00%			3.20%		96.80%		
Famílias principais	N 130° - 140° E; 70° - 85° NE N 20° - 30° E; 60° - 70° SE					N 130° - 150° E; 80° - 90° NE N 60° - 80° E; 80° - 90° SE			N 130° - 150° E; 70° - 90° NE N 25° - 45° E; 65° - 85° SE						
Abertura	Fe.	Ab.	M.A.		Fe.	Ab.	M.A.	Fe.	Ab.	M.A.					
	100.00%	-	-		68.00%	32.00%	-	90.00%	10.00%	-					
Espaçamento	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>		F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>					
	50.00%	30.00%	20.00%		37.00%	53.00%	10.00%	46.00%	37.00%	17.00%					
Continuidade	M.P.C.	P.C.	M.C.		M.P.C.	P.C.	M.C.	M.P.C.	P.C.	M.C.					
	23.00%	50.00%	27.00%		21.00%	79.00%	-	22.00%	59.00%	19.00%					
Terminação	R	D	O		R	D	O	R	D	O					
	16.00%	16.00%	68.00%		32.00%	26.00%	42.00%	21.00%	19.00%	60.00%					
Curvatura	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>		C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>					
	68.00%	23.00%	9.00%		42.00%	47.00%	11.00%	60.00%	30.00%	10.00%					
Rugosidade	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>		R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>					
	32.00%	66.00%	2.00%		16.00%	84.00%	-	27.00%	71.00%	2.00%					
Enchimento	Qua.	Arg.	R. Esm.	Ve.	Nen.	Qua.	Ve./R./Mat. O.	R. Esm.	Nen.	R. Esm.	Ve./R./Mat. O.	Nen.			
	-	-	-	-	100.00%	-	26.00%	5.00%	68.00%	2.00%	8.00%	90.00%			
Presença de água	Não		Sim			Não		Sim			Não		Sim		
	100%		-			100%		-			100%		-		
Resistência à compressão	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
Descontinuidades	-	8.30%	33.30%	58.40%	-	-	-	100.00%	-	-	-	6.25%	50.00%	43.75%	-
Maciço	-	-	50.00%	50.00%	-	-	-	66.70%	33.30%	-	-	-	36.40%	45.40%	18.20%

Fe.	Fechada	M.P.C.	Muito pouco contínua
Ab.	Aberta	P.C.	Pouco contínua
M.A.	Muito aberta	M.C.	Medianamente contínua
F <sub>1-2</sub>	Muito afastadas a afastadas	R	Rocha
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas	D	Descontinuidade
F <sub>4-5</sub>	Próximas a muito próximas	O	Obscura

C <sub>1-2</sub>	Planas a ligeiramente curvas	Qua.	Quartzo	S <sub>1</sub>	Resistência muito elevada
C <sub>3</sub>	Curvas	Arg.	Argila	S <sub>2</sub>	Resistência elevada
C <sub>4-5</sub>	Muito curvas	R. Esm.	Rocha esmagada	S <sub>3</sub>	Resistência média
R <sub>1-2</sub>	Lisas a algo rugosas	Ve.	Vegetação/Raízes/Matéria orgânica	S <sub>4</sub>	Resistência baixa
R <sub>3</sub>	Medianamente rugosas	Nen.	Nenhum	S <sub>5</sub>	Resistência muito baixa
R <sub>4-5</sub>	Muito rugosas				

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).

Quadro 19 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Talude da Cancela.

Caldas da Cavaca (Talude Cancela)																							
Abertura (mm)			Continuidade (m)					Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Resistência - Maciço (Mpa)					Espaçamento médio por famílias (cm)		Grau de Fracturação (cm)			
Valor médio global			Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global		Valor médio global			
0,1			2,2					26,3					22,2					65,2		66,2			
Média	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-150°E; 70°-90°NE	N25°-45°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	4,6	-	0,8	2,0	4,5	-	-	-	61,5	31,5	15,3	-	-	-	27,9	15,4	-	67,5	46,7	112,6	40,0	10,5
Global			Global					Global					Global					Global		Global			
<0,1			2,5					NA					13,6					NA		40,0			
Moda	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-150°E; 70°-90°NE	N25°-45°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	<0,1	2,4	-	0,9	2,5	5,0	-	-	-	NA	NA	NA	-	-	-	NA	13,6	-	NA	NA	NA	40,0	10,0
Global			Global					Global					Global					Global		Global			
<0,1			2,0					22,1					25,6					50,0		50,0			
Mediana	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-150°E; 70°-90°NE	N25°-45°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	<0,1	2,4	-	0,9	2,0	4,8	-	-	-	13,6	28,5	15,0	-	-	-	27,2	16,1	-	50,0	40,0	100,0	40,0	10,0
Global			Global					Global					Global					Global		Global			
<0,1			0,5					13,6					13,6					5,0		5,0			
Mínimo	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-150°E; 70°-90°NE	N25°-45°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	<0,1	2,4	-	0,5	1,0	3,0	-	-	-	13,6	21,5	13,6	-	-	-	25,6	13,6	-	5,0	20,0	70,0	20,0	5,0
Global			Global					Global					Global					Global		Global			
9,0			6,0					61,5					33,8					220,0		300,0			
Máximo	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-150°E; 70°-90°NE	N25°-45°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,4	9,0	-	0,9	2,5	6,0	-	-	-	13,6	48,9	19,1	-	-	-	33,8	17,3	-	220,0	80,0	300,0	60,0	20,0
Global			Global					Global					Global					Global		Global			
1,6			1,3					14,3					7,0					51,2		53,8			
Desvio Padrão	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-150°E; 70°-90°NE	N25°-45°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,0	3,4	-	0,2	0,5	0,9	-	-	-	NA	10,2	1,9	-	-	-	3,1	1,7	-	53,2	30,6	50,6	11,0	5,5

NA - Não Aplicável

Em síntese, das descontinuidades medidas na área das Caldas da Cavaca, num total de 407 descontinuidades, perto de 90% correspondem a diaclases (figura 111), num maciço predominantemente medianamente alterado ( $W_3$ ).

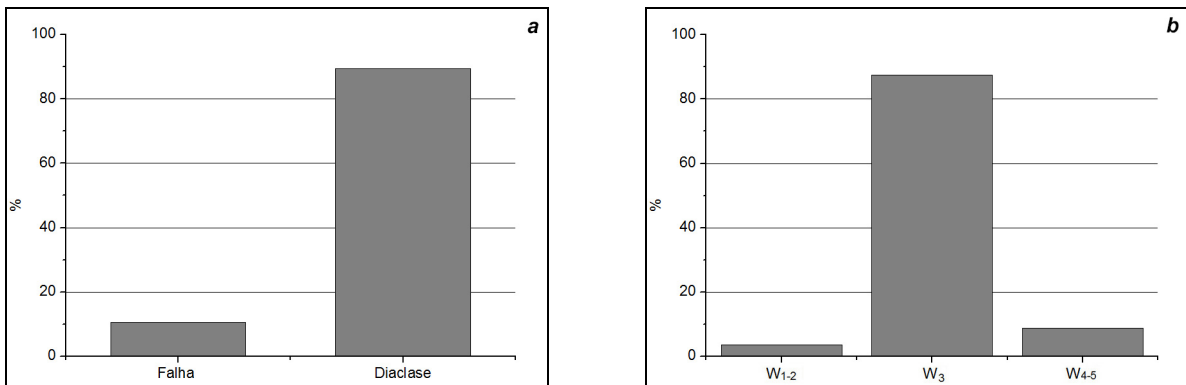


Figura 111 - Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração (b) para a globalidade das descontinuidades da área das Caldas da Cavaca.

O espaçamento médio medido na totalidade das descontinuidades corresponde a 0,70 m, sendo predominante a classe de espaçamento  $F_3$  (descontinuidades medianamente afastadas), com um valor médio de 0,60 m. Dada a grande representatividade desta classe (89,4%), os valores médios de espaçamento registados nas classes  $F_{1-2}$  e  $F_{4-5}$ , 1,1 m e 0,1 m, não representam grande influência no resultado médio global obtido. As

descontinuidades registadas apresentam-se também, na sua esmagadora maioria, fechadas (figura 112).

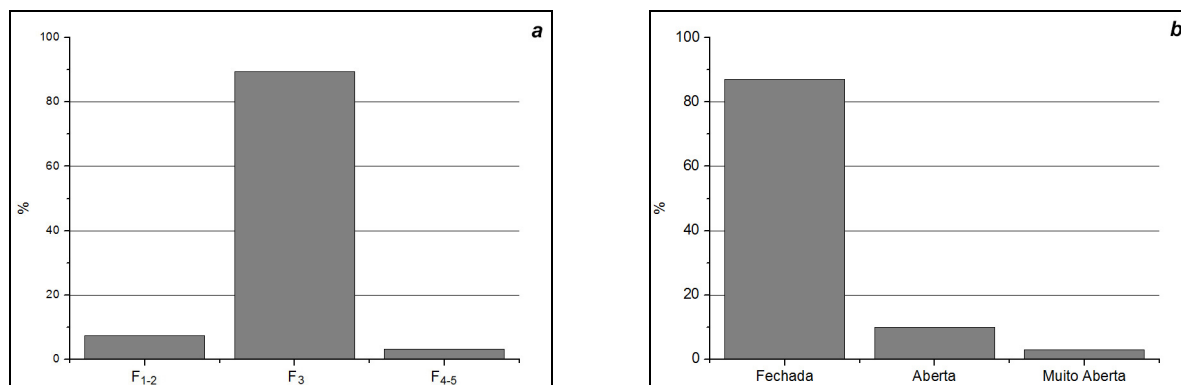


Figura 112 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades da área das Caldas da Cavaca.

As descontinuidades registadas apresentam-se em geral, pouco contínuas (55,3%) a muito pouco contínuas (30%), terminando, em geral, de forma obscura (45%). As terminações em rocha ou noutra descontinuidade apresentam valores muito semelhantes, de 27% e 28%, respectivamente (figura 113).

As descontinuidades registadas apresentam valores de curvatura baixos, sendo predominantes as descontinuidades planas a ligeiramente curvas (65,1%, figura 114). As descontinuidades muito rugosas apresentam pouca representatividade (3,2%), tendo-se registado, em valores percentuais mais ou menos equivalentes, descontinuidades lisas a algo rugosas e medianamente rugosas.

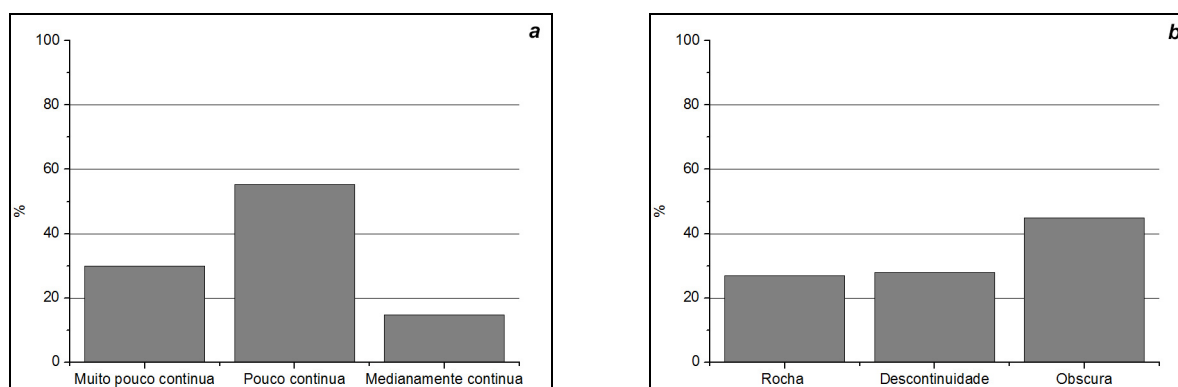


Figura 113 - Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades da área das Caldas da Cavaca.

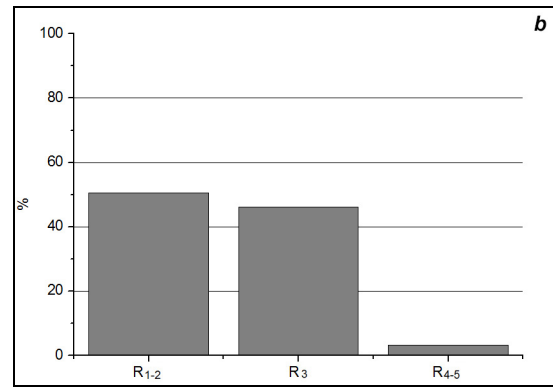
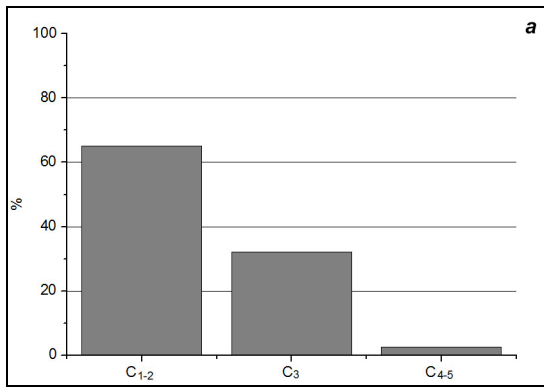


Figura 114 - Curvatura (a), rugosidade (b) das descontinuidades da área das Caldas da Cavaca.

Em termos globais, regista-se ainda que 80% das descontinuidades não apresenta enchimento, e quando este está presente, corresponde maioritariamente a rocha esmagada ou vegetação e matéria orgânica. Em termos de presença de água, esta foi registada em cerca de 25% das descontinuidades (figura 115).

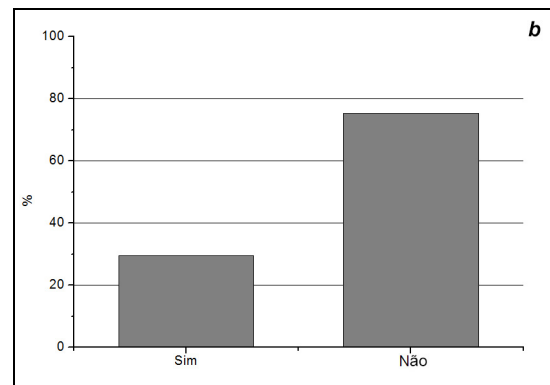
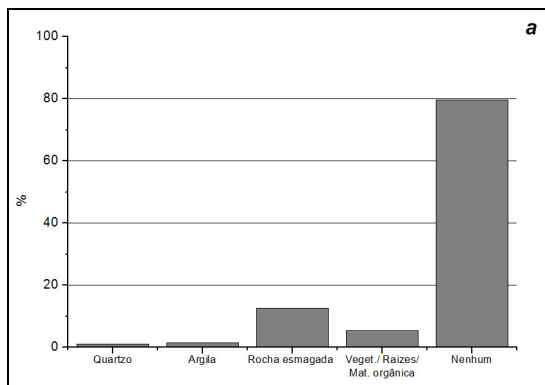


Figura 115 - Enchimento (a) e presença de água (b) nas descontinuidades da área das Caldas da Cavaca.

As principais famílias identificadas (figura 116 e figura 117) correspondem às direcções N130°E a N150°E, subverticais, e N35°E a N55°E; com inclinações entre 65° a 80°SE. Na figura 116 apresenta-se a localização dos taludes de levantamento geológico-geotécnico, com os respectivos diagramas de rosetas.

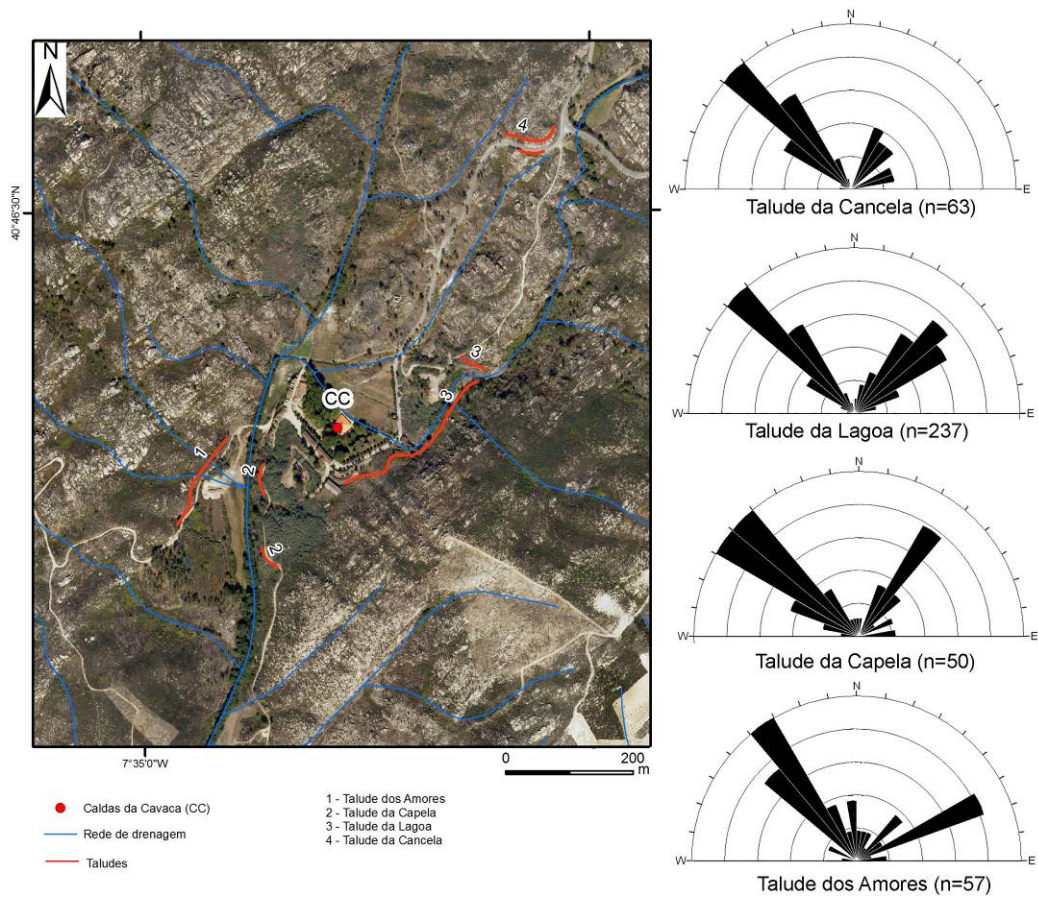


Figura 116 - Localização dos taludes de levantamento geológico-geotécnico na área das Caldas da Cavaca e diagramas de rosetas das discontinuidades.

A presença de água foi identificada, preferencialmente, nas famílias de discontinuidades N130°-150°E e N30°-60°E, cujo esquema se apresenta no diagrama de rosetas da figura 117.

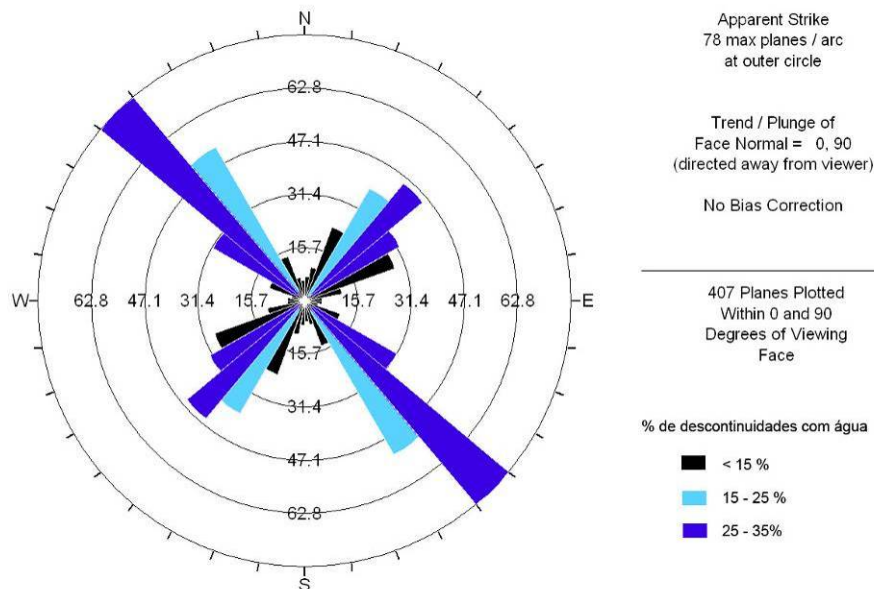


Figura 117 - Diagrama de rosetas relativos à área das Caldas da Cavaca, com indicação das principais direcções onde foi registada a presença de água.

De assinalar que as estruturas do tipo falha correspondem, na sua maioria, à direcção N30°-40°E (figura 118), o que poderá explicar as direcções principais de lineamentos tectónicos à escala do maciço, apresentada seguidamente.

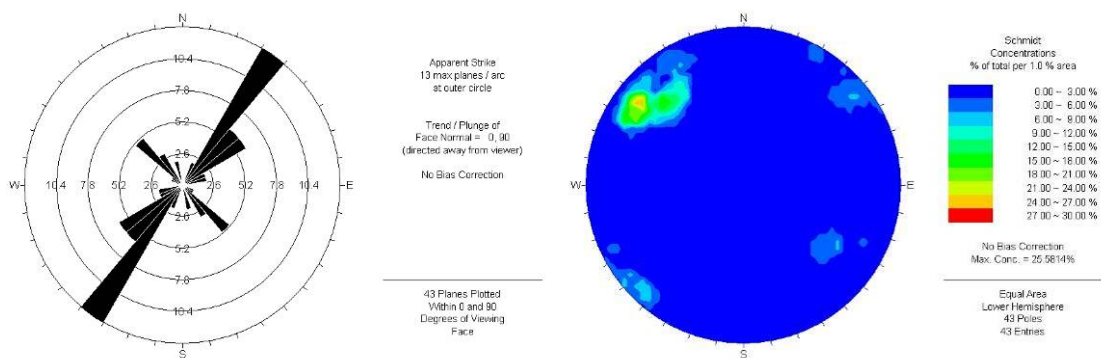


Figura 118 - Diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos à área das Caldas da Cavaca, para as estruturas do tipo falha.

Os ensaios esclerométricos revelaram um maciço e descontinuidades com resistência média à compressão uniaxial simples  $S_3$ , i.e., com valores entre 20 e 60 MPa (figura 119). Os valores médios registados foram assim de 58,7 MPa no material-rocha e de 49,8 MPa nas descontinuidades. Registaram-se valores médios de 94,6 MPa, 38,5 MPa e 15,4 MPa para as classes de resistência  $S_2$ ,  $S_3$  e  $S_4$ , respectivamente, nas medições efectuadas no material-rocha. Na superfície das descontinuidades registaram-se, para as mesmas classes, valores médios de 89,7 MPa, 38,6 MPa e 15,6 MPa, respectivamente. Os quadros 20 e 21 apresentam a síntese global e resumo estatístico dos parâmetros registados na área das

Caldas da Cavaca. No quadro 22 apresenta-se o resumo estatístico relativo às descontinuidades onde foi registada a presença de água.

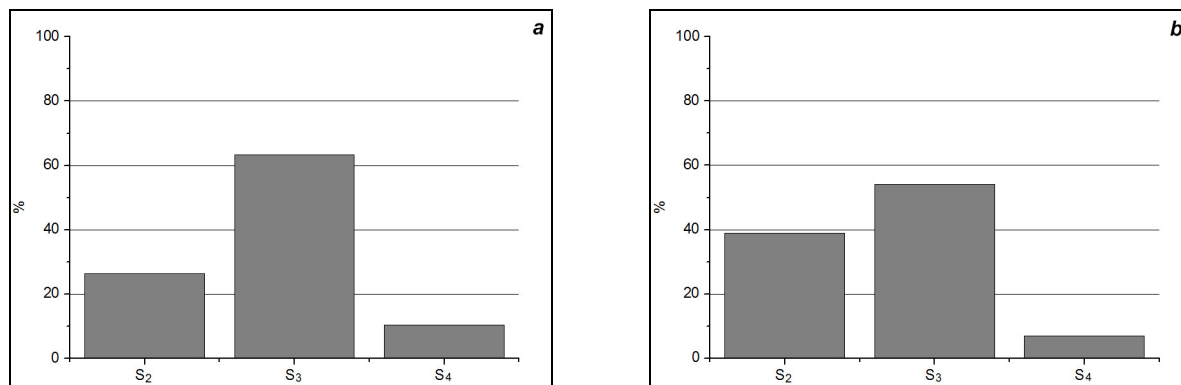


Figura 119 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades (a) e do material rocha (b) na área das Caldas da Cavaca.

Quadro 20 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos da área das Caldas da Cavaca.

CALDAS DA CAVACA					
AFLORAMENTO	Global				
Litologia	Granito				
Grau de Alteração	W <sub>1,2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4,5</sub>		
	4.00%	87.00%	9.00%		
Grau de Fracturação					
Tipo de descontinuidade	Falha	Diaclase			
	10.60%	89.40%			
Famílias principais	N 130° - 140° E; 75° - 85° SW; N 140° - 150° E; 75° - 85° NE; N 35° - 55° E; 65° - 80° SE				
Abertura	Fe.	Ab.	M.A.		
	87.00%	10.00%	2.00%		
Espaçamento	F <sub>1,2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4,5</sub>		
	8.00%	89.00%	3.00%		
Continuidade	M.P.C.	P.C.	M.C.		
	30.00%	55.00%	15.00%		
Terminação	R	D	O		
	27.00%	28.00%	45.00%		
Curvatura	C <sub>1,2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4,5</sub>		
	65.00%	32.00%	3.00%		
Rugosidade	R <sub>1,2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4,5</sub>		
	51.00%	46.00%	3.00%		
Enchimento	Arg.	Qua.	Veg./R./Mat. Org.	R./R.Esm.	Nen.
	1.00%	1.00%	5.00%	13.00%	80.00%
Presença de água	Não		Sim		
	75.00%		25.00%		
Resistência à compressão	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
Descontinuidades	-	26.40%	63.20%	10.40%	-
Maciço	-	38.80%	54.20%	7.00%	-

C <sub>1,2</sub>	Planas a ligeiramente curvas
C <sub>3</sub>	Curvas
C <sub>4,5</sub>	Muito curvas
R <sub>1,2</sub>	Lisas a algo rugosas
R <sub>3</sub>	Medianamente rugosas
R <sub>4,5</sub>	Muito rugosas
Qua.	Quartzo
Arg.	Argila
Veg./R./Mat. Org.	Vegetação/Raízes/Matéria Orgânica
R. Esm.	Rocha Esmagada
Nen.	Nenhum
S <sub>1</sub>	Resistência muito elevada
S <sub>2</sub>	Resistência elevada
S <sub>3</sub>	Resistência média
S <sub>4</sub>	Resistência baixa
S <sub>5</sub>	Resistência muito baixa

Fe.	Fechada	M.P.C.	Muito pouco contínua
Ab.	Aberta	P.C.	Pouco contínua
M.A.	Muito aberta	M.C.	Medianamente contínua
F <sub>1,2</sub>	Muito afastadas a afastadas	R	Rocha
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas	D	Descontinuidade
F <sub>4,5</sub>	Próximas a muito próximas	O	Obscura

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).



Quadro 21 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos da área das Caldas da Cavaca.

Caldas da Cavaca (Talude Global)																								
	Abertura (mm)			Continuidade (m)					Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Resistência - Maciço (Mpa)					Espaçamento médio por famílias(cm)			Grau de Fracturação (cm)		
	Valor médio global			Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global			Valor médio global		
Média	11,7			1,7					49,8					58,7					70,0			70,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N140°-150°E; 75°-85°NE	N35°-55°E; 65°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	5,9	499,0	0,5	1,7	4,1	-	-	-	89,7	38,6	15,8	-	-	94,6	38,5	15,4	-	70,0	70,0	60,0	110,0	60,0	10,0
Moda	Global			Global					Global					Global					Global			Global		
	1,5			1,5					NA					NA					20,0			40,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N140°-150°E; 75°-85°NE	N35°-55°E; 65°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
<0,01	9,0	99,0	0,5	1,5	3,5	-	-	-	NA	NA	13,6	-	-	NA	NA	NA	NA	NA	20,0	NA	10,0	0,0	40,0	20,0
Mediana	Global			Global					Global					Global					Global			Global		
	<0,1			1,5					43,7					49,0					5,0			50,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N140°-150°E; 75°-85°NE	N35°-55°E; 65°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
<0,1	6,2	99,0	0,5	1,5	4,0	-	-	-	76,8	38,5	15,4	-	-	82,4	36,6	16,1	-	60,0	40,0	50,0	10,0	50,0	10,0	
Mínimo	Global			Global					Global					Global					Global			Global		
	<0,1			0,1					13,6					13,6					10,0			0,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N140°-150°E; 75°-85°NE	N35°-55°E; 65°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
<0,1	2,4	99,0	0,1	1,0	3,0	-	-	-	61,5	21,5	13,6	-	-	61,8	25,3	13,6	-	10,0	10,0	10,0	0,0	0,0	10,0	
Máximo	Global			Global					Global					Global					Global			Global		
	999,0			7,0					156,8					195,4					3,0			38,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N140°-150°E; 75°-85°NE	N35°-55°E; 65°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,4	10,0	999,0	0,9	2,5	7,0	-	-	-	156,8	57,8	19,1	-	-	195,4	59,4	17,3	-	27,0	30,0	19,0	30,0	38,0	20,0	
Desvio Padrão	Global			Global					Global					Global					Global			Global		
	99,1			1,3					30,1					36,8					0,6			60,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N130°-140°E; 75°-85°SW	N140°-150°E; 75°-85°NE	N35°-55°E; 65°-80°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,1	3,4	474,3	0,2	0,5	1,0	-	-	-	28,3	10,8	1,9	-	-	33,9	10,1	1,7	-	60,0	80,0	50,0	80,0	60,0	10,0	

NA - Não Aplicável

Quadro 22 – Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos da área das Caldas da Cavaca, para as descontinuidades onde foi registada a presença de água.

Caldas da Cavaca (Global: Descontinuidades com água)																								
	Abertura (mm)			Continuidade (m)					Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Resistência - Maciço (Mpa)					Espaçamento médio por famílias(cm)			Grau de Fracturação (cm)		
	Valor médio global			Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global			Valor médio global		
Média	0,6			1,4					58,1					56,4					66,6			67,3		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N120°-150°E; 70°-90°SW	N40°-60°E; 60°-80°SE		F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	6,4	-	0,5	1,7	4,1	-	-	-	106,2	38,8	-	-	-	91,7	41,2	16,4	-	65,3	68,7		111,4	40,3	14,2
Moda	Global			Global					Global					Global					Global			Global		
	<0,1			0,5					NA					NA					10,0			40,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N120°-150°E; 70°-90°SW	N40°-60°E; 60°-80°SE		F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
<0,01	9,0	-	0,5	1,5	3,5	-	-	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	10,0	10,0	10,0	100,0	40,0	10,0	
Mediana	Global			Global					Global					Global					Global			Global		
	<0,1			1,0					42,5					49,5					50,0			50,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N120°-150°E; 70°-90°SW	N40°-60°E; 60°-80°SE		F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
<0,1	9,0	-	0,5	1,5	4,0	-	-	-	103,9	40,1	-	-	-	91,7	41,1	16,4	-	50,0	60,0		100,0	40,0	10,0	
Mínimo	Global			Global					Global					Global					Global			Global		
	<0,1			0,2					25,5					16,4					10,0			10,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N120°-150°E; 70°-90°SW	N40°-60°E; 60°-80°SE		F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
<0,1	2,6	-	0,2	1,0	3,0	-	-	-	84,5	25,5	-	-	-	64,7	32,8	16,4	-	10,0	10,0		40,0	20,0	10,0	
Máximo	Global			Global					Global					Global					Global			Global		
	10,0			5,0					132,7					118,7					210,0			380,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N120°-150°E; 70°-90°SW	N40°-60°E; 60°-80°SE		F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,3	10,0	-	0,8	2,5	5,0	-	-	-	132,7	51,5	-	-	-	118,7	49,5	16,4	-	210,0	170,0		380,0	60,0	20,0	
Desvio Padrão	Global			Global					Global					Global					Global			Global		
	1,9			1,1					33,7					39,2					51,1			57,5		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N120°-150°E; 70°-90°SW	N40°-60°E; 60°-80°SE		F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,1	3,5	-	0,1	0,6	0,8	-	-	-	20,7	7,4	-	-	-	38,2	11,8	NA	-	52,8	49,5		58,3	12,7	4,9	

NA - Não Aplicável

À escala cartográfica de pormenor, o granito de grão médio pode ser dividido em 3 grupos (figura 120), de acordo com o seu grau de alteração (sub)superficial (Teixeira et al., 2010a):

- o primeiro grupo corresponde a um granito são a ligeiramente alterado ( $W_{1-2}$ ), que ocorre nas áreas de maior altitude (600 – 700 m), com uma fracturação medianamente afastada ( $F_3$ ). É uma unidade com grande relevância na definição do relevo da área, tendo-se identificado na área afloramentos com predominância de formas arredondadas;
- o segundo grupo corresponde a um granito medianamente alterado ( $W_3$ ), correspondendo, *grosso modo*, a um corredor com direcção aproximada NE-SW, em áreas de cotas mais baixas que a primeira unidade (500 a 650 m);
- por fim, o terceiro grupo corresponde ao grau de alteração mais elevado ( $W_{4-5}$ ), por vezes com intensa arenização, que predomina nas áreas aplanadas a SE e NW das Caldas da Cavaca. As unidades menos alteradas e medianamente alteradas ( $W_{1-2}$  e  $W_3$ ) estão, geralmente, delimitadas por falhas e fracturas, com direcções predominantes NNE-SSW a NE-SW e NW-SE. Foram ainda identificados vários corredores de granito muito alterado, acompanhando os traços de falha, ladeando os afloramentos de rocha menos alterada.

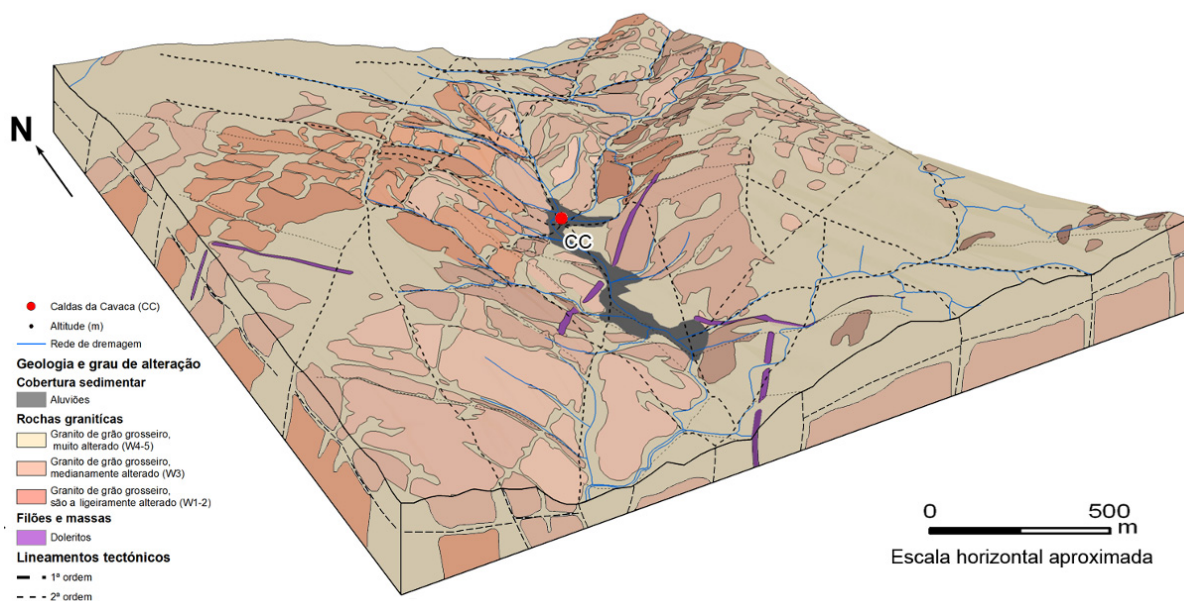


Figura 120 – Perspectiva 3D da litologia, estrutura e grau de alteração do maciço da área das Caldas da Cavaca (adaptado de Teixeira et al., 2010a).

A alteração é intensa e profunda nestes locais, podendo chegar a profundidades da ordem dos 50 m, especialmente nas proximidades das fracturas mais profundas, nomeadamente na estrutura principal da área, a zona de falha da Ribeira de Côja, de direcção aproximada NNE – SSW (Carvalho et al., 2005a). Os filões de rocha básica seguem o padrão estrutural geral da área, apresentando direcções gerais NE-SW e NW-SE. Estas estruturas encontram-se em geral alteradas, e correspondem, regra geral, no Maciço Antigo, a zonas de circulação profunda de fluidos (Carvalho, 1996; 2006).

As direcções principais de estruturação do maciço, à escala cartográfica, são no geral concordantes com o levantamento efectuado à escala do maciço (figura 121). No entanto, verifica-se aqui que os lineamentos tectónicos do quadrante NE apresentam maior expressão e continuidade, especialmente nas direcções N30° a 60°E, que como foi referido, correspondem às direcções das grandes estruturas regionais. Estas estruturas foram também registadas em afloramento, correspondendo sobretudo a estruturas do tipo falha. As direcções do quadrante NW apresentam, em geral, menor continuidade, e menor expressão cartográfica. A sua maior expressão à escala do maciço poderá estar relacionada com um sistema de fracturação secundário, relacionado com a descompressão do próprio maciço rochoso.

De ressaltar ainda a ocorrência de uma família de descontinuidades com importância à escala cartográfica, com direcções aproximadas E-W, que não eram visíveis em afloramento.

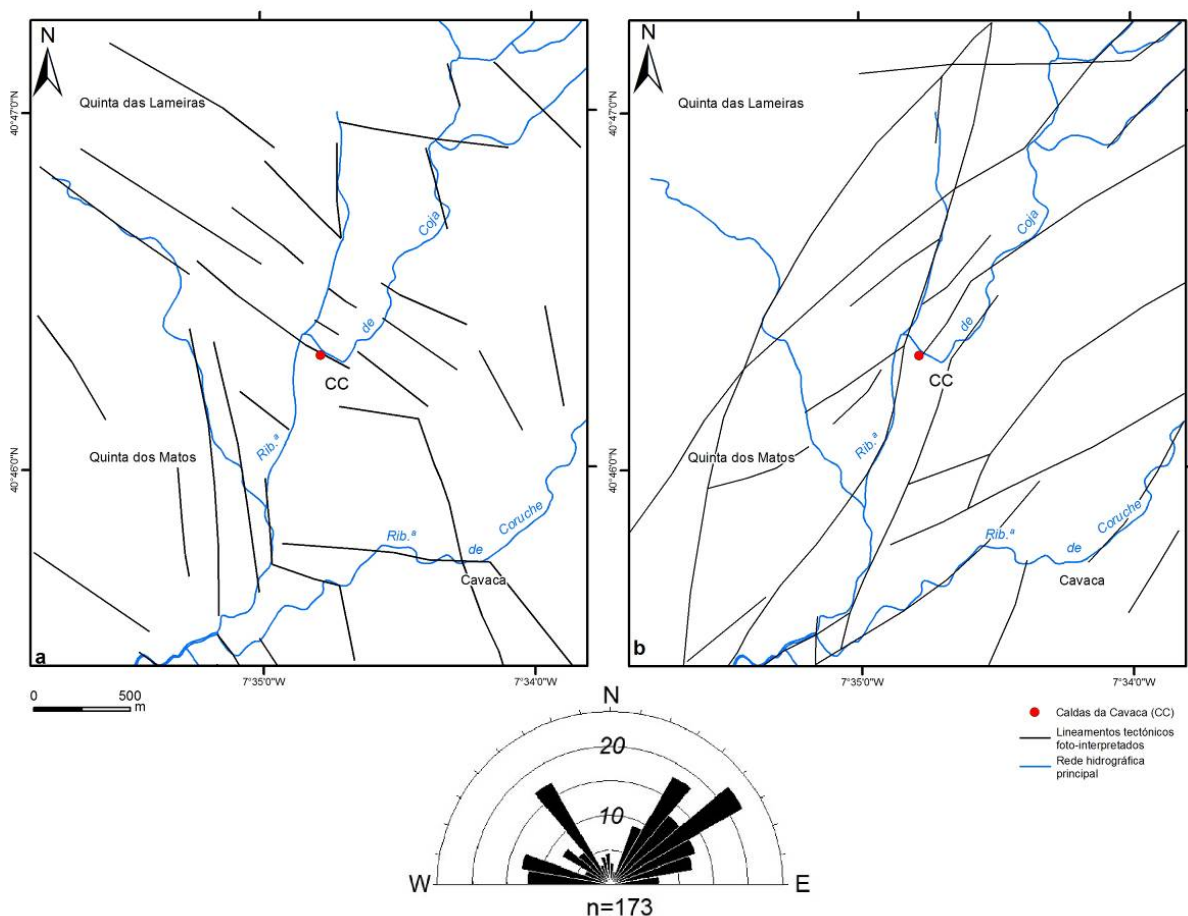


Figura 121 – Lineamentos tectónicos foto-interpretados na área das Caldas da Cavaca, para os quadrantes Noroeste (a) e Nordeste (b).

---

### **5.3.5. Condições hidrogeológicas**

Na caracterização geológica da área das Caldas da Cavaca, na descrição da litologia e na análise das condições de recarga foram já apresentados alguns dados gerais de natureza hidrogeológica que aqui retomamos. Neste ponto procuraremos sistematizar as condições hidrogeológicas da área das Caldas da Cavaca de forma a perspectivar as condições de reservatório, disponibilidade de recurso, bem como a contribuir para o melhoramento do conhecimento geral da área.

#### **5.3.5.1. O inventário hidrogeológico**

O inventário hidrogeológico de campo incidiu sobre uma área de cerca de 16 km<sup>2</sup>, na área envolvente das Caldas da Cavaca. Assim, os elementos relativos ao inventário constam da figura 122. O inventário incidiu sobretudo nos seguintes pontos de água ou estruturas, a saber:

- Furos de captação: Furo Velho (ou Nascente de N.<sup>a</sup> Senhora dos Remédios), Furo Novo, Furo Cavaca 2 e Furo Cavaca 3;
- Poços;
- Minas de água;
- Nascentes de água;
- Águas superficiais: ribeiras, linhas de água secundárias, charcas/represas.

O inventário hidrogeológico, do qual se apresenta a síntese dos principais parâmetros observados no quadro 23 e na figura 122, foi realizado ao longo de várias campanhas no terreno (campanhas de 2006; 2007; 2010; 2011 e retomam-se ainda dados do estudo da TARH, 2005). Foram inventariados 38 pontos de água durante a campanha de campo, nos quais se incluem também os dados compilados das emergências “clássicas” das Caldas da Cavaca (*cf.* Anon, 1920; Freire de Andrade, 1935, 1938; Oliveira e Souza, 1947; Acciaiuoli, 1952/53; Espinha Marques et al., 2004; Carvalho et al., 2005a; TARH, 2005), bem como da campanha de captações de pesquisa e eventual exploração realizada em 2006/2007 (R. L. Azenha, 2007).

Quadro 23 – Síntese dos principais parâmetros do inventário hidrogeológico dos pontos de água da área das Caldas da Cavaca, Aguiar da Beira (cf. Figura 122 e anexo 3)

Ponto	Local / Designação	Cota (m)	Tipo de captação e/ou ponto de água	Profundidade (m)	pH	Condutividade ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Litologia/ estrutura	Data	Hora	Observações
1	Ponte de madeira, junto balneário	525	Ribeiro		6,5	30	20	Solo Granítico	09-06-2004	15:00	
2	Ponte, a W balneário	524	Ribeiro		5,8	30	20	Solo Granítico	10-06-2004	10:10	Água estagnada num açude
3	Ponte, a W balneário	524	Ribeiro		5,7	30	20	Solo Granítico	10-06-2004	10:15	Água estagnada num açude
4	A jusante do açude, W do balneário	522	Ribeiro		6,0	70	21	Solo Granítico	09-06-2004	15:10	
5	Charca	570	Charca		-	-	-	Solo Granítico	-	-	Água estagnada numa pequena barragem, sem acesso para medição
6	Mina	575	Mina		-	-	-	Solo Granítico	-	-	Seca, acesso impedido por silvado denso
7	Mina	575	Mina		5,4-5,5	30-40	24(1); 19(2)	Granito Porfírido Grão Grosso W2-3	1)17-06-04; 2)18-06-04	1)17:05; 2)10:00	1) Temp Amb - 30°C; 2)Temp Amb, 24°C; Obs: água estagnada, sob sol intenso, à saída a mina
					6,0	64	11,3		17-03-2010	10:55	Medições realizadas durante a primeira campanha de amostragem de águas
					6,0	21	9,6		02-03-2011	15:50	Medições realizadas durante a segunda campanha de amostragem de águas
8	Ribeiro, junto à cancela	580	Ribeiro		5,8	20	17	Solo Granítico	10-06-2004	9:40	
					5,6	78	12,7		17-03-2010	15:45	Medições realizadas durante a primeira campanha de amostragem de águas
					5,5	27	9,4		02-03-2011	15:40	Medições realizadas durante a segunda campanha de amostragem de águas
9	Ribeiro, a NE Balneário	538	Ribeiro		5,5	20	19	Solo Granítico	10-06-2004	10:00	
10	Ponte, a WSW do balneário	525	Ribeiro		5,7	30	19	Solo Granítico	10-06-2004	10:05	
11	Nascente da Capela	535	Nascente		4,4	50	14	Granito Porfírido Grão Grosso W2	10-06-2004	10:15	Faixa N41°E;74°SE
					5,6	62	13,2		25-02-2010	16:00	Medições realizadas durante a primeira campanha de amostragem de águas
					4,4	47	13,1		02-03-2011	12:20	Medições realizadas durante a segunda campanha de amostragem de águas
12	Fonte dos Amores	540	Fonte		4,8	30	19	Granito Porfírido Grão Grosso W3	10-06-2004	10:30	Fonte canalizada da Mina dos Amores, actualmente seca devido à deterioração da canalização de ferro
13	Mina dos Amores	545	Mina		4,9	20	14	Granito	17-06-2004	18:05	
					6,1	41	12,5		25-02-2010	13:10	Medições realizadas durante a primeira campanha de amostragem de águas
					5,4	20	12,1		02-03-2011	12:45	Medições realizadas durante a segunda campanha de amostragem de águas
14	Poço	640	Poço		-	-	-	-	-	Soterrado, não há acesso	
15	Nascente	640	Nascente		-	-	-	-	-	Pequena quantidade de água estagnada, sem caudal suficiente para efectuar medições	
16	Mina	640	Mina		5,6	20	15	Granito Porfírido Grão Grosso W3	17-06-2004	15:40	
17	Charca	640	Charca		5,0	20	17	Solo Granítico	17-06-2004	15:45	
18	Mina		Mina		5,4	20	15	Granito Porfírido Grão Grosso W2	17-06-2004	16:00	
19	Poço		Poço	5-6 m	4,9	70	15	Granito W5 porfírido muito caulizado	17-06-2004	16:20	
20	Nascente da Lagoa	600	Nascente		4,6	20	14	Granito Porfírido Grão Grosso W2	17-06-2004	17:30	
					6,6	33	11,5		17-03-2010	16:25	Medições realizadas durante a primeira campanha de amostragem de águas
					6,5	28	10,3		02-03-2011	15:10	Medições realizadas durante a segunda campanha de amostragem de águas
21	Chafariz JAE	730	Fonte		5,0	20	18	Granito	17-06-2004	18:35	Fora da área de trabalho
22	Poço Qta. Lameiras	740	Poço	7 m / 2 m água	4,9	120	14	Granito / filão dolerítico alterado	18-06-2004	9:30	
23	Poço Qta. Lameiras	740	Furo		-	-	-	-	-	-	Fechado, acesso não permitido pelo proprietário
24	Nascente	735	Nascente		-	-	-	-	-	-	Fechado, acesso não permitido pelo proprietário; fora da área de trabalho
25	Cisterna		Cisterna		-	-	-	-	-	-	Fechado, acesso não permitido pelo proprietário
26	Chão Grande		Nascente		-	-	-	-	-	-	Não encontrada, vegetação muito densa no local
27	Chão Grande		Nascente		-	-	-	-	-	-	Não encontrada, vegetação muito densa no local
28	Furo Velho (Nasc. N. Sr <sup>o</sup> Remédios)		Furo	30	8,3	365	27		20-07-2000	16:00	Informação cedida pelo Dr. J. Espinha Marques, in TARH, 2004
29	Furo Novo		Furo		8,2	390	29,2		20-07-2000	15:45	Informação cedida pelo Dr. J. Espinha Marques, in TARH, 2004
30	Lameiro do Penedo	647	Nascente		5,8	90/100	15	Granito	28-07-2004	11:00	Odor ligeiramente sulfuroso, caudal =160 L/h
31	Furo Cavaca 2	543	Furo	107	8,5	350	21,8	Granito	13-06-2006	-	RLA, 2007
					8,5	384	21,7		25-02-2010	12:10	Medições realizadas durante a primeira campanha de amostragem de águas
32	Furo Cavaca 3	529	Furo	220	8,6	380	25	Granito	25-05-2007	-	1)RLA, 2007
					8,4	378	29		25-02-2010	11:30	Medições realizadas durante a primeira campanha de amostragem de águas
					8,3	430	26,2		02-03-2011	11:35	Medições realizadas durante a segunda campanha de amostragem de águas
33	Furo RAH1	527	Furo sub-horizontal	100	-	1)220	1)16	Granito	1) 15-03-07	-	1)RLA, 2007; furo horizontal abandonado e selado devido a fraca produtividade (0,05 L/s)
34	Furo RA1-P	528	Furo	121	-	-	-	Granito	-	-	1)RLA, 2007; furo abandonado e selado, totalmente seco
35	Furo RA2-P	526	Furo	82	-	-	-	-	-	-	1)RLA, 2006; furo abandonado e selado, totalmente seco
36	Furo RA3-P	538	Furo	100	-	-	-	-	-	-	1)RLA, 2007; furo abandonado e selado devido a fraca produtividade (0,083 L/s) e dificuldades de perfuração
37	Furo RA4-P	539	Furo	97	-	-	-	-	-	-	1)RLA, 2007; furo abandonado e selado, totalmente seco
38	Furo RAM1	528	Furo	151	1)9,8	1)300	22	Granito	1) 26-03-207	-	1)RLA, 2007, furo abandonado e selado

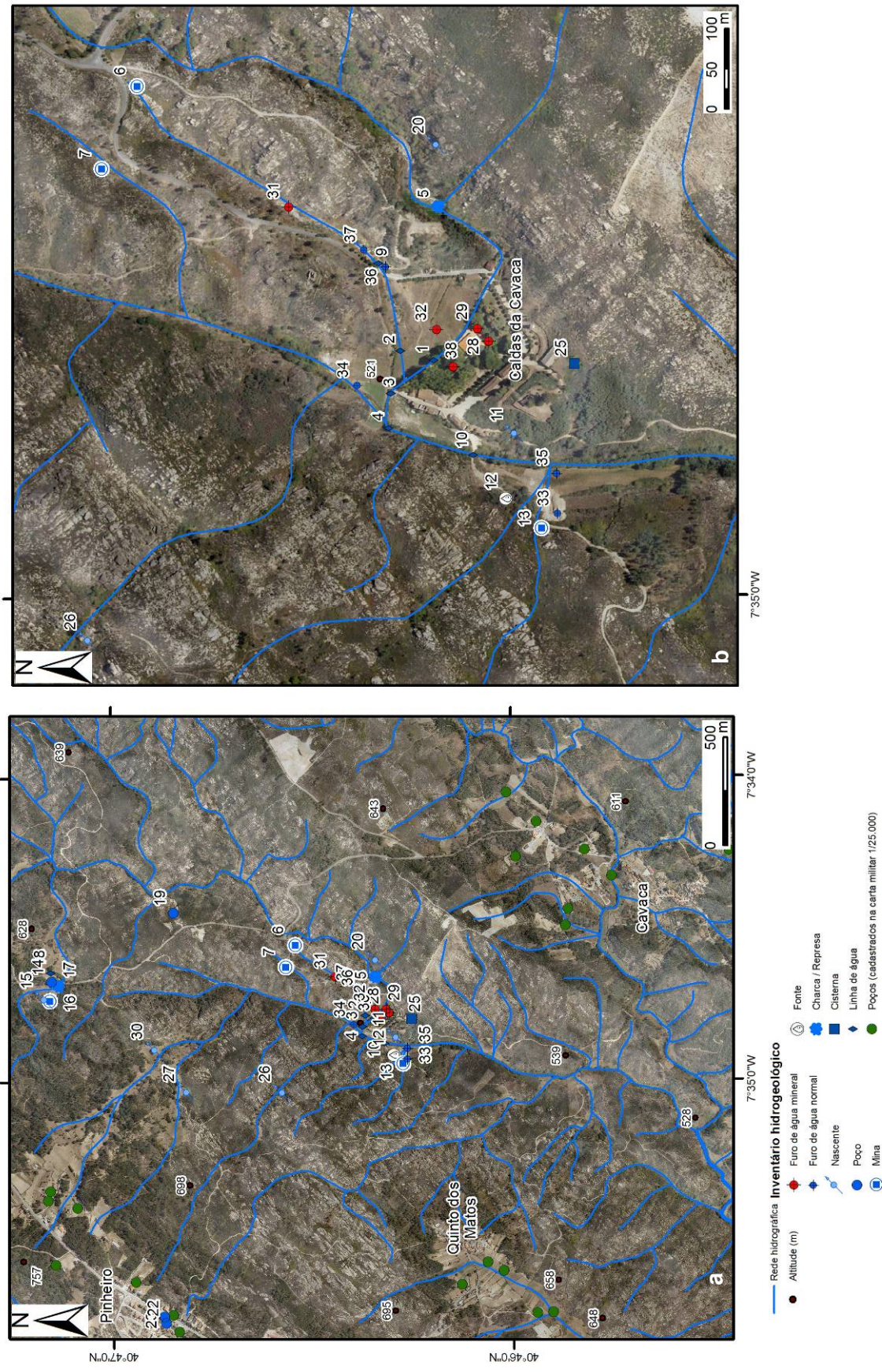


Figura 122 – Inventário hidrogeológico dos pontos de água da área das Caldas da Cavaca (a), e pormenor na área envolvente às Caldas da Cavaca (b) (cf. quadro 23).

---

O inventário hidrogeológico mostrou que as águas de ciclo hidrogeológico curto, isto é, as águas “normais” da área se podem integrar em duas categorias: (i) águas ocorrentes em zonas arenizadas ou de fracturação inconspícua em granitos, têm um pH de 5,0 a 6,5 e condutividade eléctrica de 20 a 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; (ii) águas de aluvião e dos cursos de água, têm um pH da ordem de 5,0 a 6,5 e condutividade eléctrica até 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . As temperaturas parecem estar na dependência directa da temperatura ambiente. Num caso, o ponto de inventário nº30 (Lameiro do Penedo), a água tem um ligeiro odor sulfídrico. As condições de emergência sugerem que possa ser simplesmente uma água de circulação superficial em materiais argilo-lodosos e a sulfuração resultar de simples redução de sulfatos (TARH, 2005). Este quimismo contrasta brutalmente com o da água mineral das Caldas da Cavaca: forte sulfuração, temperatura de 29,8°C, pH de 8,3 e condutividade eléctrica de 427  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . As águas das Caldas da Cavaca têm como principais indicações as doenças de fígado e intestinos e as doenças de pele, bem como reumatismos subagudos e crónicos e doenças do aparelho respiratório (Pral, 1965; D’Almeida & Almeida, 1970-1988; Barata, 1983).

O inventário hidrogeológico mostrou em termos hidrodinâmicos a ocorrência de caudais muito reduzidos, geralmente inferiores aos 150 L/h.

Foi ainda referenciada a uma centena de metros a NNE do estabelecimento termal (ponto 5 do inventário, *cf.* figura 122) uma represa equipada com duas comportas provavelmente inoperacionais, construída para regularizar um pouco a aridez estival na área das termas. O abastecimento de água às termas, ao antigo hotel e às poucas casas situadas junto às instalações termais era, até 2008, realizado sumariamente a partir das minas inventariadas junto às termas.

Na figura 123 apresentam-se alguns dos aspectos mais relevantes do inventário hidrogeológico, registados durante os trabalhos de campo.

Em termos espaciais, a ocorrência dos pontos de água inventariados (figura 124) aparenta estar fortemente relacionada com os lineamentos tectónicos registados, à escala local, na área das Caldas da Cavaca. Este condicionamento é ainda mais evidente quando se tomam em consideração as direcções do quadrante NE, sobretudo na área mais próxima à das Caldas da Cavaca. É de assinalar ainda que praticamente todos os pontos de água se encontram muito próximos dos lineamentos tectónicos (em geral, a menos de 100 m). Não será também de descartar o papel das intersecções entre as diversas direcções de lineamentos, junto às Caldas da Cavaca, favorecendo um contexto de *nó tectónico* (armadilha hidrogeológica), condicionando favoravelmente a emergência das águas minerais das Caldas da Cavaca, bem como uma elevada densidade de pontos de água “normais”, nas imediações do balneário das Caldas da Cavaca.



A) Pormenor da medição de parâmetros físico-químicos da nascente nº 20 do inventário hidrogeológico; B) Aspecto da nascente nº 20 ; C) Nascente nº 11 do inventário, observando-se as descontinuidades sub-horizontais; D) Vista da Charca (nº 5); E) Entrada da mina de água (Nº 7).

Figura 123 - Aspectos relativos ao inventário hidrogeológico na área das Caldas da Cavaca.



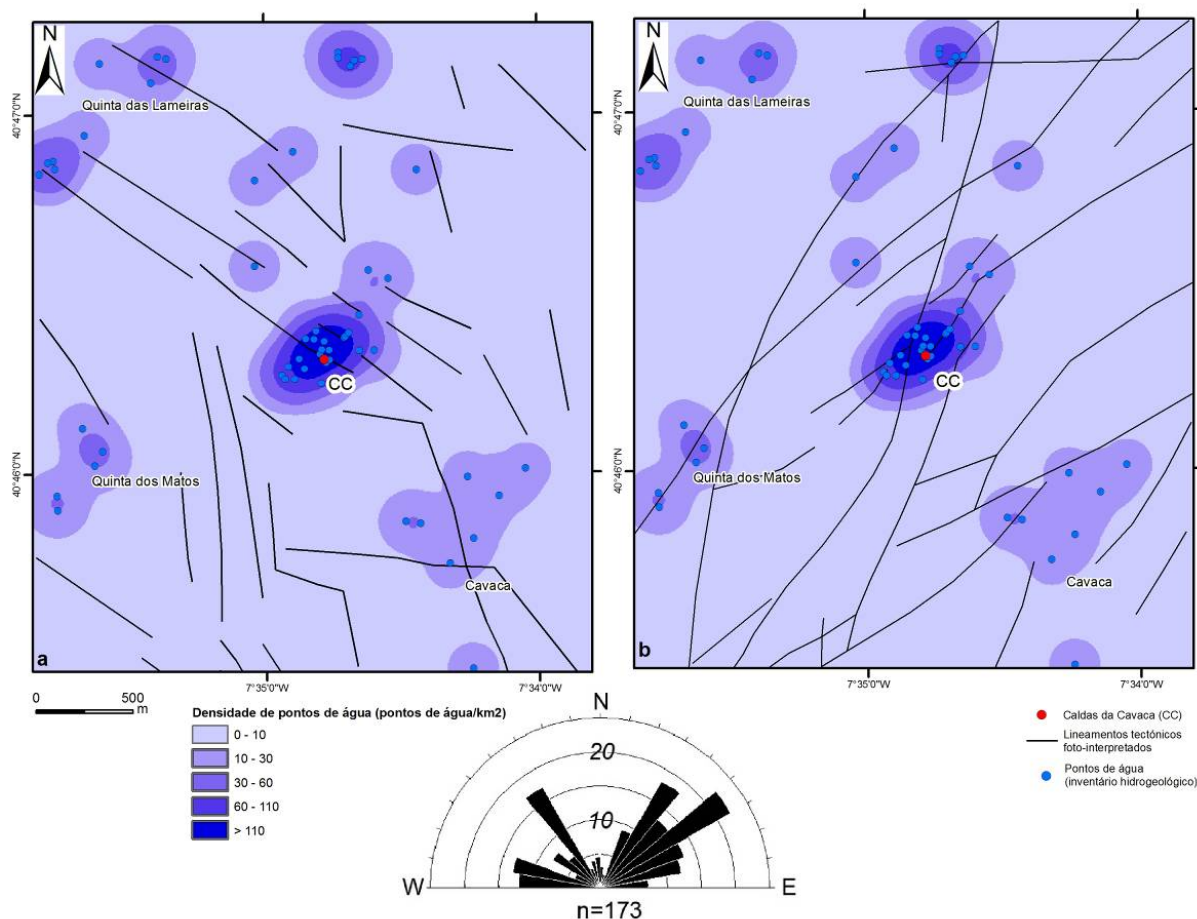


Figura 124 – Lineamentos tectónicos do quadrante NW (a) e do quadrante NE (b), e densidade de pontos de água da área das Caldas da Cavaca.

Na área envolvente ao balneário termal das Caldas da Cavaca, foi realizada uma espacialização dos dados relativos aos parâmetros hidrogeológicos medidos no campo (pH, condutividade eléctrica e temperatura), em ambiente SIG, recorrendo ao método de interpolação IDW (*Inverse Distance Weight*), em que os pontos mais próximos assumem maior importância na estimativa do valor final, cujos resultados se apresentam na figura 125.

A espacialização dos dados revela claramente os contrastes vinculados entre as águas minerais, com valores de pH, temperatura e condutividade eléctrica elevados, e as águas normais da envolvente das Caldas da Cavaca, que, como se referiu, apresentam temperaturas, condutividades eléctricas e pH baixos.

Por serem importantes nas informações que forneceram para o refinamento do modelo conceptual da área, apresentam-se seguidamente as informações relativas às captações clássicas e às captações actuais das Caldas da Cavaca, cujos dados aqui apresentados serão retomados e reinterpretados no ponto 5.3.6, na concepção e refinamento do modelo conceptual da área das Caldas da Cavaca.

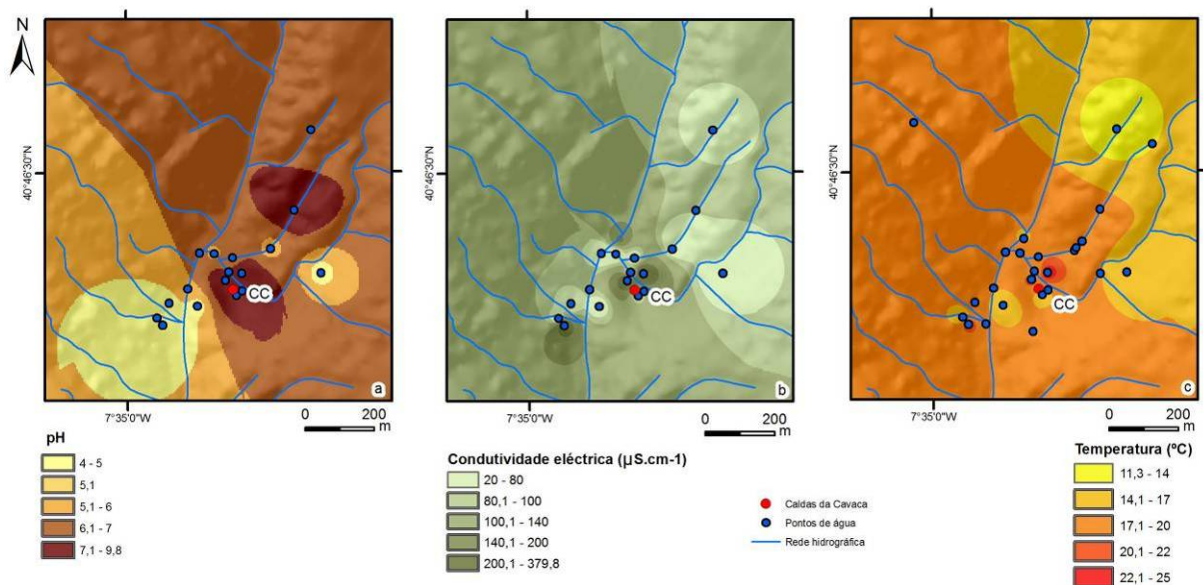


Figura 125 – Espacialização do pH, condutividade eléctrica e temperatura na área das Caldas da Cavaca.

O *Furo Velho* (Figura 126) corresponde à captação de Freire de Andrade, 1935, 1938 construída sobre a anterior nascente de Nossa Senhora dos Remédios. A captação aparenta ter cerca de 3m de profundidade; a cabeça, em aço inox, está ligada a um tubo cerâmico de 20 cm de diâmetro, o qual, provavelmente, liga a nascente com a superfície (Espinha Marques et al., 2004). Esta captação actualmente, não faz parte do actual Plano de Exploração da concessão.

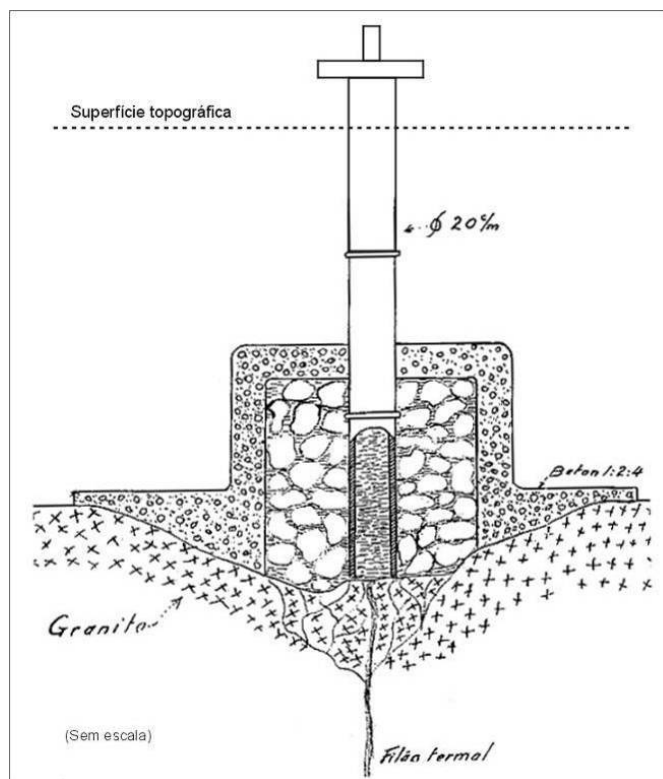


Figura 126 - Corte esquemático do Furo Velho (segundo Freire de Andrade, 1935).

O *Furo Novo* tem uma profundidade de 96 m e está entubado em PVC, com um diâmetro 180 mm e com tubos-ralo entre os 24 e os 61 m (cf. figura 127). O isolamento terá sido conseguido por aplicação de calda de cimento entre os 21 m e a superfície. A captação é repuxante sendo o caudal actualmente “controlado” mantendo o furo a correr para o esgoto. O nível piezométrico não é conhecido pois quando se tenta controlar o artesianismo do Furo Novo a água mineral sai pelo Furo Velho, ou seja, infere-se que deve ser inferior a 5 m acima do solo. Actualmente o Furo Novo não é usado para abastecimento das termas. O anterior Plano de Exploração autorizava o caudal de 6,0 L/s com um NHD máximo de 19 m (Espinha Marques, 2008a, 2008b).

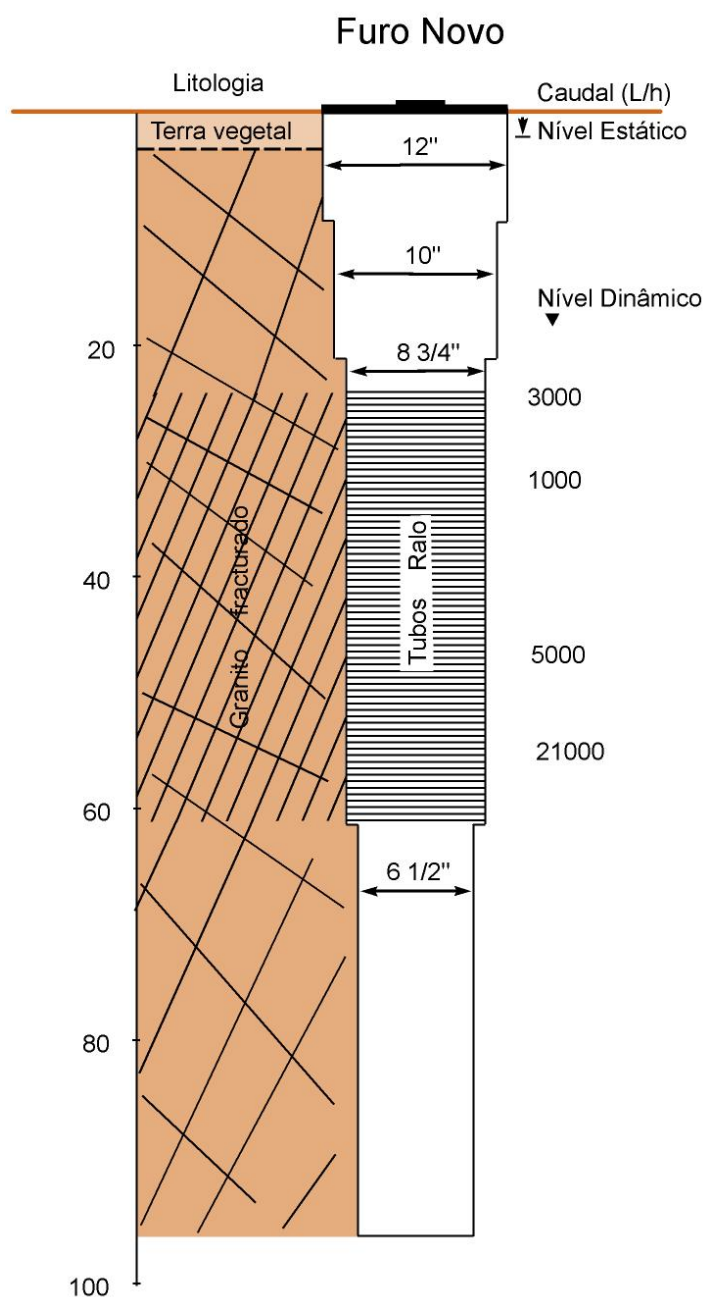


Figura 127 - Perfil esquemático do Furo Novo (adaptado e reinterpretado de HidroNorte, 1995; Espinha Marques et al., 2004)

A sondagem correspondente ao furo Cavaca 2 (figura 128), realizada em Junho de 2006, foi, originalmente, destinada à pesquisa de água subterrânea normal tendo, no entanto, produzido água mineral. O furo de 107 m de profundidade encontra-se entubado em PVC, com um diâmetro de 140 mm (cf. figura 128), no qual o anterior plano de exploração autorizava a extracção de um caudal de 1L/s.

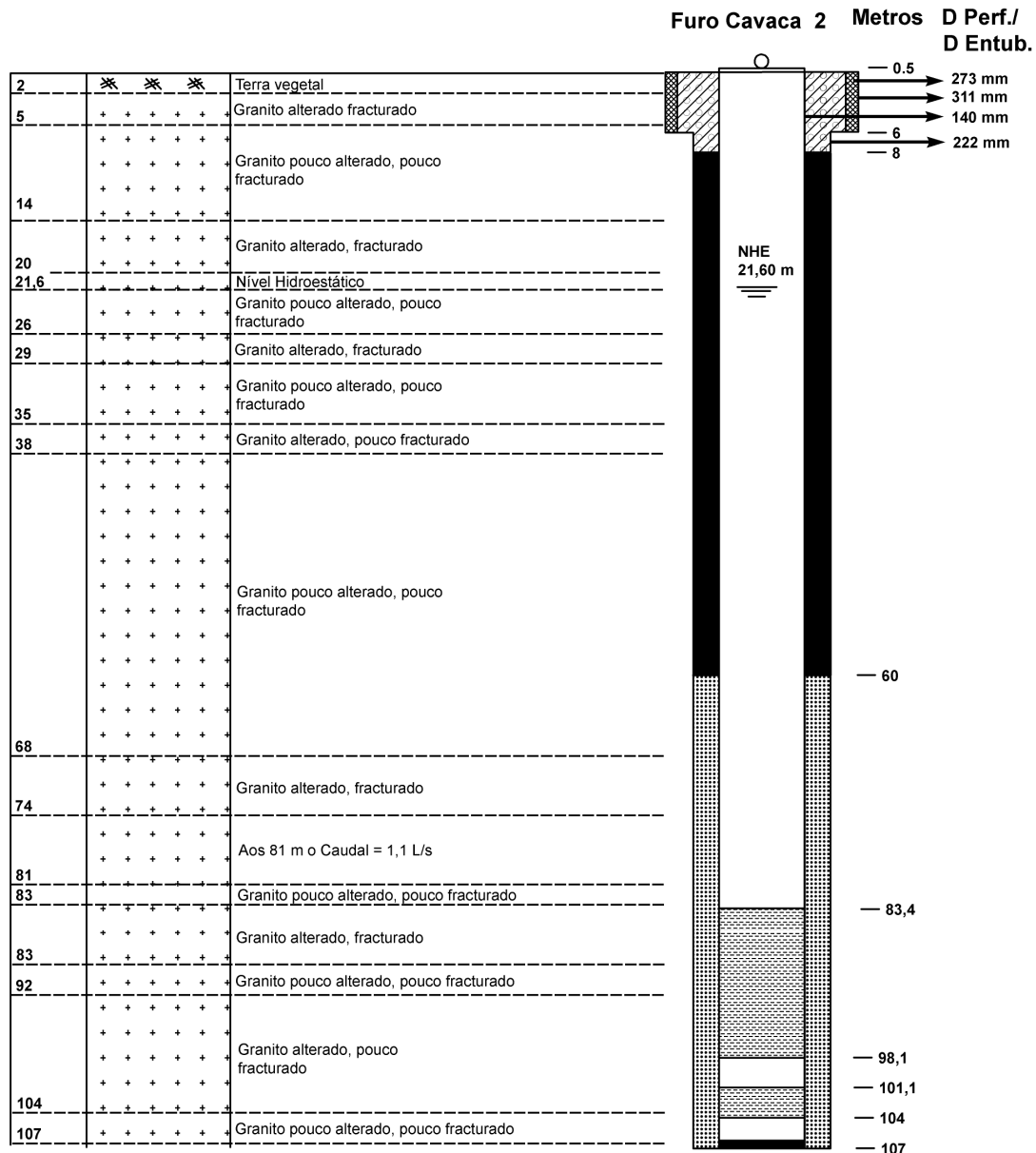


Figura 128 – Perfil esquemático do Furo Cavaca 2 (adaptado de R. L. Azenha, 2007)

O Furo Cavaca 3, realizado também em Junho de 2006, atingiu 220 m de profundidade, tendo atravessado uma sequência irregular de rocha granítica sã e fracturada com intercalações de rocha alterada, e encontra-se revestido em Aço Inox (cf. figura 129). Este furo corresponde actualmente à captação principal de água mineral nas Caldas da Cavaca, com um caudal de exploração autorizado pelo respectivo plano de exploração de 4L/s.

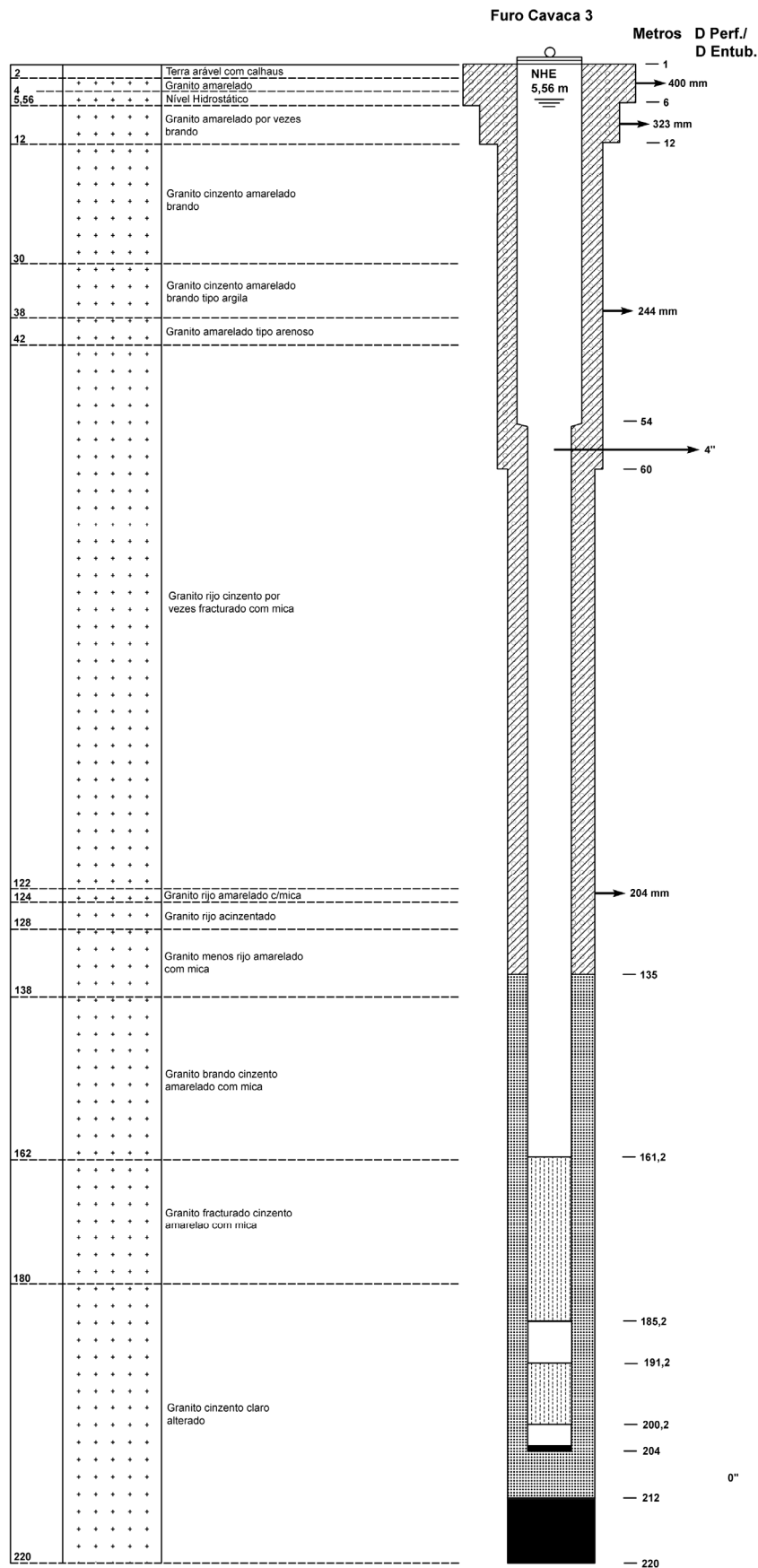


Figura 129 – Perfil esquemático do furo Cavaca 3 (adaptado de R. L. Azenha, 2007).

---

Na campanha de prospecção e pesquisa, levada a cabo em 2006/2007 foram realizados ainda outros 6 furos, que, por se revelarem improdutivos (*cf.* quadro 23) não foram aproveitados para captação, nem de água mineral nem de água normal. No entanto, dada a importância dos dados relativos às formações rochosas sub-superficiais e subterrâneas para o refinamento do modelo conceptual apresentado, apresentamos as figuras relativas aos seus perfis em anexo (*cf.* Anexo 4).

Em suma, o inventário hidrogeológico identificou uma série de pontos de água, que não estão uniformemente distribuídos pela área em estudo. Assim, foi inventariada uma série de poços, geralmente em áreas relativamente aplanadas e junto a áreas agrícolas, a altitudes que variam, sobretudo, entre os 600 e os 700 m. Estes poços apresentam, em geral, pequenas profundidades, sendo a origem da água aí captada o aquífero não confinado, instalado na rocha granítica alterada mais superficial (Carvalho et al., 2005a). As minas de água estão geralmente localizadas a cotas mais baixas (550 a 600 m) num maciço medianamente alterado, aproveitando também o mesmo aquífero não confinado superficial (*cf.* figura 130, perfil 1).

Foram ainda identificadas várias nascentes de água, que se caracterizam por terem caudal reduzido (0,05 a 0,1 L/s), baixa temperatura (<17°C) e baixa condutividade eléctrica (<100  $\mu\text{Scm}^{-1}$ ), localizadas, em diferentes posições nas vertentes do vale da Ribeira de Côja (figura 130).

Os furos de água mineral estão localizados no fundo do vale da Ribeira de Côja (*cf.* figura 122), intersectando, nos seus metros iniciais, a camada aluvionar, e atingindo uma profundidade máxima de 220 m na rocha granítica (figura 130). A água extraída nestes furos apresenta uma temperatura que ronda os 29°C, com condutividades eléctricas elevadas (350 – 450  $\mu\text{Scm}^{-1}$ ). A transmissividade do sistema hidromineral varia entre 45 e 135  $\text{m}^2/\text{dia}$ . No sistema superficial as transmissividades são inferiores a 1  $\text{m}^2/\text{dia}$  (Carvalho et al., 2005a).

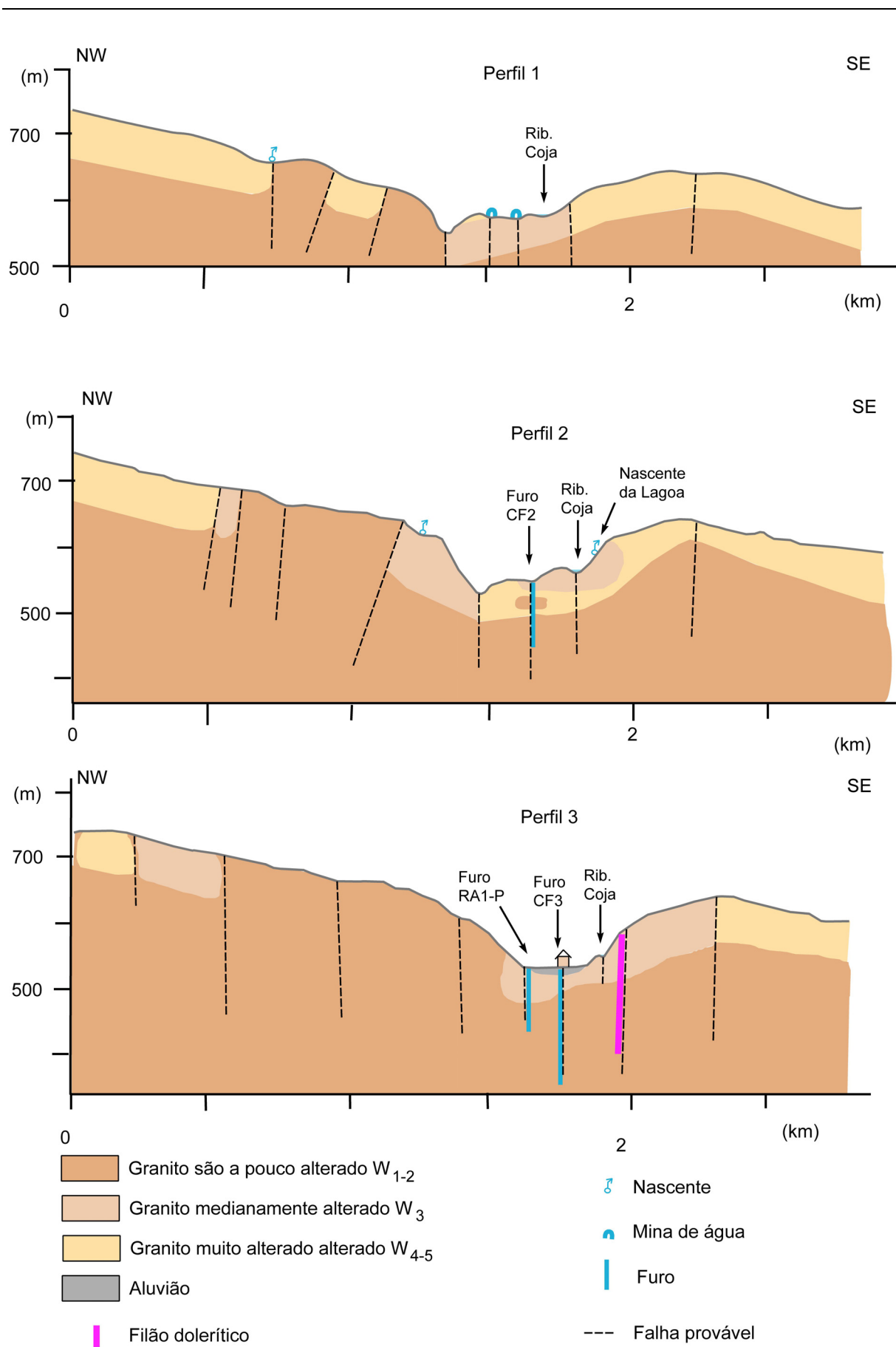


Figura 130 – Perfis geológicos interpretativos da área das Caldas da Cavaca, recriando as condições geológicas do grau de alteração e os principais constrangimentos hidrogeológicos. (cf. localização dos perfis na figura 75; sobre-elevação vertical de 3 vezes a escala horizontal).

### 5.3.5.2. *Hidroquímica*

As águas minerais das Caldas da Cavaca enquadram-se quimicamente no conjunto das águas sulfúreas portuguesas (Acciaiuoli, 1952/53; Machado, 1988; Calado, 2001), cuja esmagadora maioria se encontra a Norte do rio Mondego. Por seu turno, Carvalho et al. (1990) caracterizam as águas sulfúreas dos granitos Variscos das Beiras como sendo de mineralização média a elevada, redutoras, típicas de circulação profunda e com tempo de residência elevado. As águas minerais das Caldas da Cavaca apresentam características químicas concordantes com as que, segundo Machado (1988b), identificam o referido conjunto de águas sulfúreas:

- pH superior a 7;
- concentração de sílica superior a 10% da mineralização total;
- concentração de fluoreto superior a 5 mg/L;
- existência de formas reduzidas de enxofre (sulfidrato e tiosulfato);
- presença de sódio como catião dominante.

Na Figura 131 apresenta-se a localização dos pontos de água mineral e normal da área das Caldas da Cavaca, dos quais se recolheram amostras para caracterização hidroquímica.

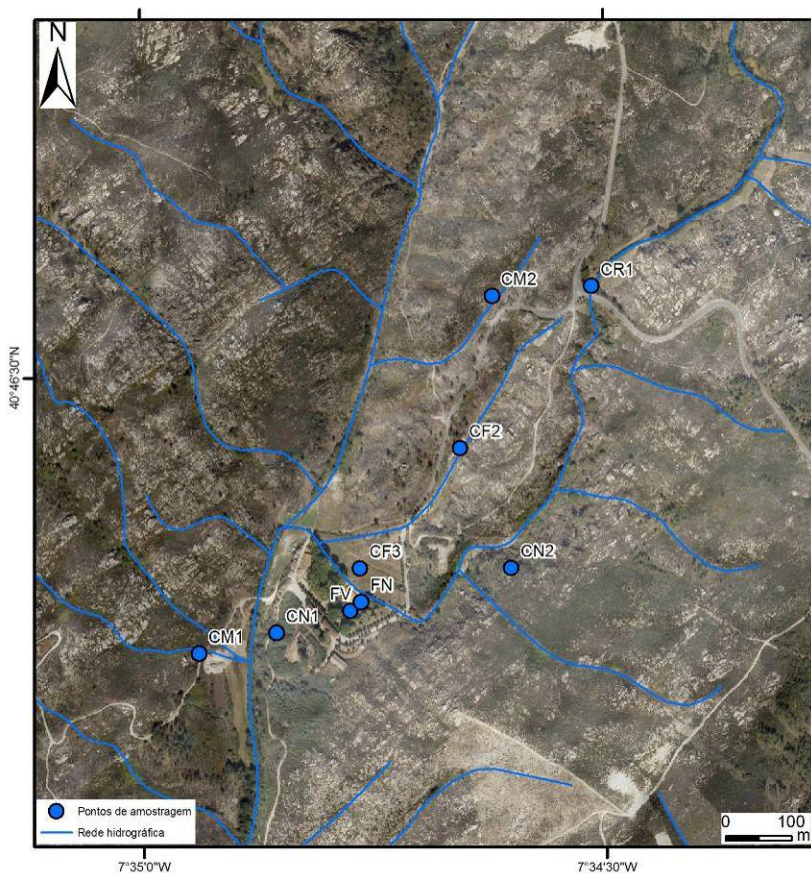


Figura 131 – Localização dos pontos de amostragem de águas na área das Caldas da Cavaca.



O diagrama de Piper (figura 132) e os diagramas de Stiff (figura 133) reflectem os resultados analíticos referentes às análises físico-químicas realizadas no Furo Velho, Furo Novo, Furo Cavaca 2 e Furo Cavaca 3. Estes dados incluem os resultados das análises realizadas no âmbito deste trabalho, em Março de 2010 e Março de 2011, bem com todos os dados que nos foi possível compilar, quer em relatórios de referência (e.g., Espinha Marques et al., 2004; Espinha Marques, 2008b, 2008a), quer no arquivo da Câmara Municipal de Aguiar da Beira, num total de 91 amostras, entre 1997 e 2011 (cedidos gentilmente para fins de investigação pelo director técnico Prof. J. Espinha Marques). A localização dos pontos de água amostrados apresenta-se na figura 131.

As águas minerais das Caldas da Cavaca são caracterizadas como mesotermiais, fracamente mineralizadas, com reacção alcalina, bicarbonatadas sódicas, fluoretadas, sulfidratadas (Espinha Marques et al., 2004; Carvalho et al., 2005a). A composição química destas águas é muito estável (cf. figura 132) quanto aos componentes iónicos maioritários, sendo quimicamente semelhantes às do Furo Velho, a captação superficial primitiva construída por Freire de Andrade (1935; 1938), tal como é visível na figura 133.

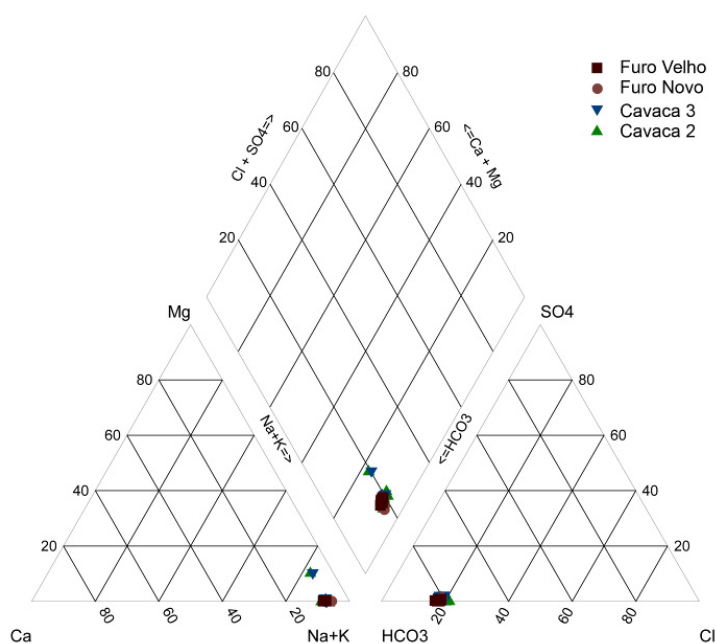


Figura 132 - Diagrama de Piper representativo das águas das captações de água mineral das Caldas da Cavaca.

As águas normais da área envolvente das Caldas da Cavaca foram alvo de análises físico-químicas realizadas no âmbito desta investigação, em Março de 2010 e Março de 2011. Os resultados obtidos são representados no diagrama de Piper (figura 134) e nos diagramas de Stiff (figura 135).

As águas normais da região caracterizam-se por terem mineralizações muito baixas, sendo: bicarbonatada sódica (CM2), cloretadas sódicas (CN1, CN2 e CR1) e na transição bicarbonatada-cloretada sódica (CM1), (cf. Figura 134 e Figura 135).

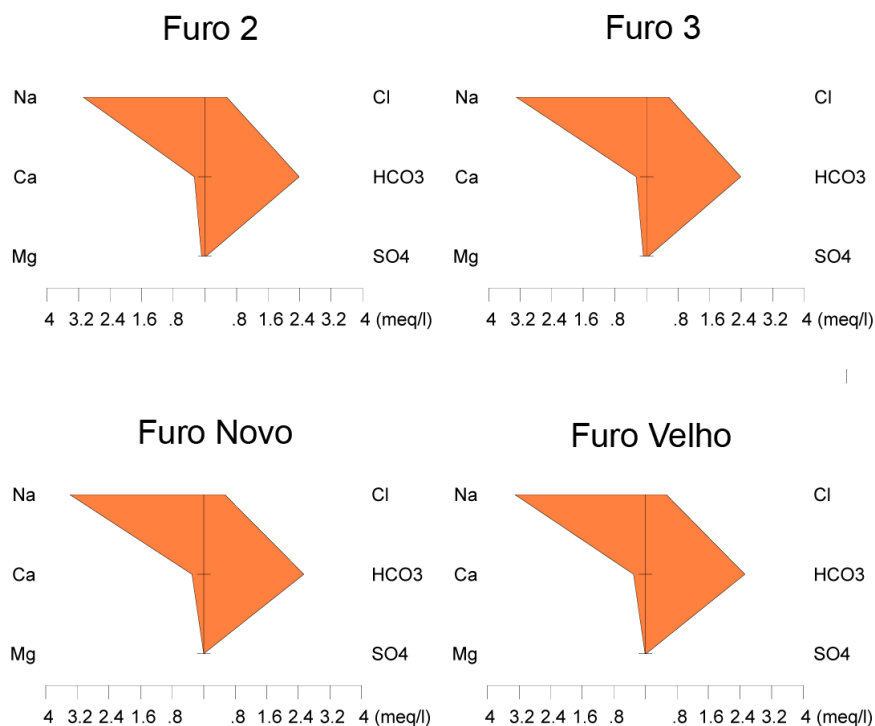


Figura 133 – Diagramas de Stiff representativos (valores médios) das captações de água mineral das Caldas da Cavaca.

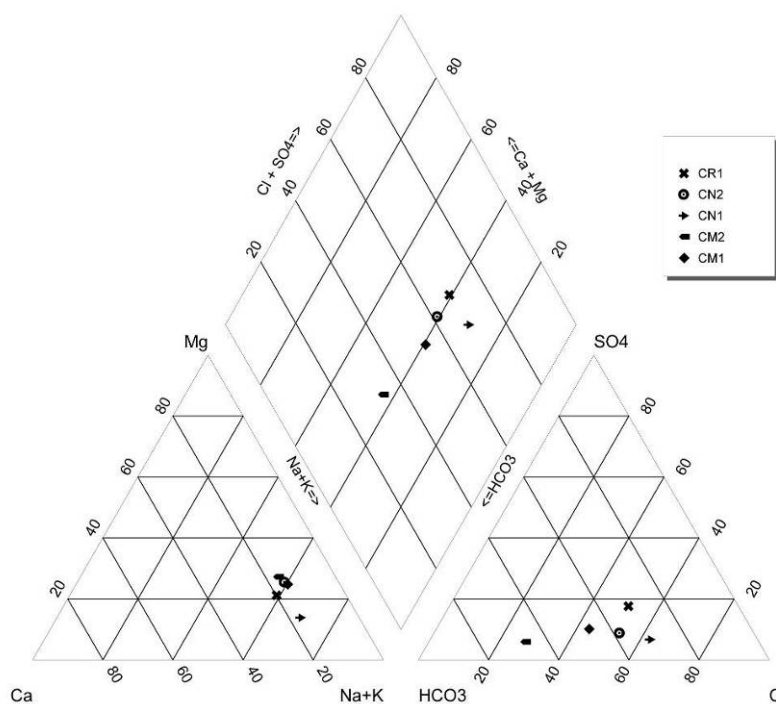


Figura 134 - Diagrama de Piper representativo das águas normais da área das Caldas da Cavaca.

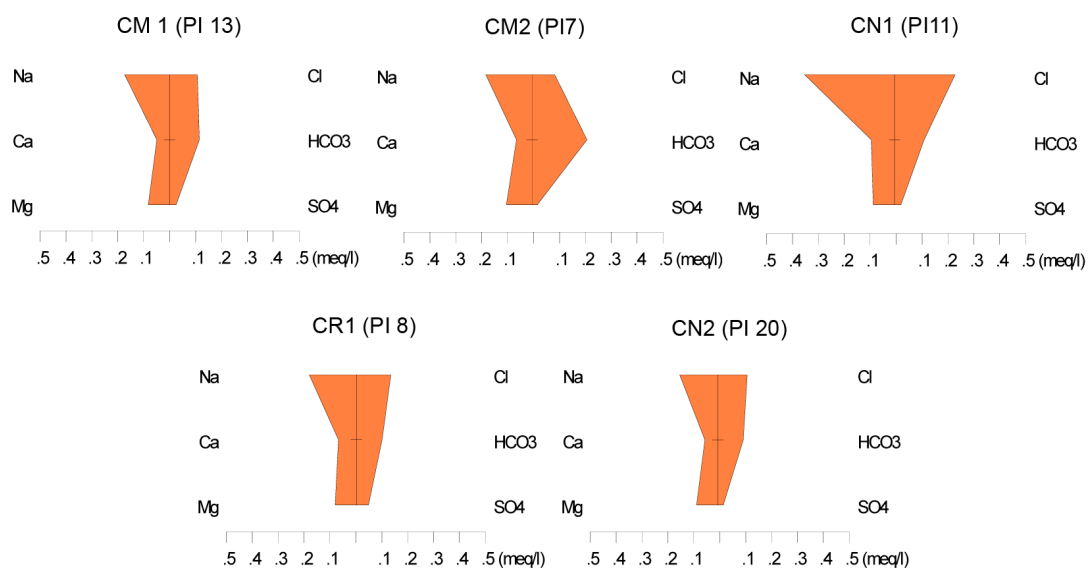


Figura 135 - Diagramas de Stiff representativos das águas normais da área das Caldas da Cavaca.

A análise química das águas através do método ICP-MS (quadro 24) possibilitou uma visão detalhada dos elementos químicos presentes na água, tendo sido identificado um padrão diferenciado entre as águas minerais do furo 3 (CF3) e das restantes águas normais. Assim, as águas minerais apresentam maiores valores de Manganês, Arsénio, Rubídio e Estrôncio. As maiores concentrações de Ferro, Tório e Urânio são encontradas nas águas normais, de ciclo hidrogeológico curto.

Quadro 24 – Síntese dos principais elementos químicos detectados nas águas da área das Caldas da Cavaca, através da análise por ICP-MS (análise Actlabs, Canadá, em Abril de 2011).

<b>Elemento químico</b>	<b>Na</b>	<b>Mg</b>	<b>Si</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>As</b>	<b>Rb</b>	<b>Sr</b>	<b>Hg</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
<b>Limite de deteção</b>	5	1	200	30	700	0,1	10	0,03	0,005	0,04	0,2	0,01	0,001	0,001
CF3	> 35000	72	31400	2840	6000	10,9	< 10	3,23	46,3	45	< 0,2	0,02	0,002	0,082
CN1	8840	280	9900	600	1300	3,5	< 10	1,66	3,03	4,8	< 0,2	0,03	< 0,001	1,56
CM2	4650	283	6800	150	700	0,6	20	0,3	0,628	3,3	< 0,2	0,05	0,062	7,35

Unidades: µg/L

Durante a campanha de amostragem de Fevereiro/Março de 2010 foram recolhidas amostras de água, quer nos dois furos de água mineral quer em pontos de água normal, nas imediações das Caldas da Cavaca, que foram alvo de análises radiológicas no Laboratório de Radioactividade Natural, LRN|FCTUC, sob coordenação do Professor Doutor Alcides Pereira, nomeadamente ao gás radão e aos parâmetros  $\alpha$  total e  $\beta$  total.

Os valores obtidos para as amostras recolhidas variam entre 4,2 Bq/L e 943 Bq/L de gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ), com uma mediana de 385 Bq/L e uma média de 392 Bq/L (quadro 25). Estes

valores registados situam-se acima do intervalo proposto por Pereira et al. (2007a) para as águas associadas a rochas graníticas (104 a 373 Bq/L), registando-se que as concentrações mais elevadas são muito superiores ao intervalo referido (quadro 25 e figura 136). Este é um padrão de variação natural dos valores de gás radão em águas que circulam nas rochas granitóides do território nacional (Pereira et al., 2007a).

Quadro 25 – Concentrações de gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) e actividade  $\alpha$  e  $\beta$  nas águas da área das Caldas da Cavaca.

Amostra	Tipo de ponto de água	Colheita	pH	Cond. Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	$^{222}\text{Rn}$ (Bq/L)	$\alpha$ (Bq/L)	$\beta$ (Bq/L)
CF3 (PI32)	Furo	25-2-10 11:30	8,4	380	29,0	195	0,25	0,99
CF2 (PI31)	Furo	25-2-10 12:10	8,5	384	21,7	617	0,18	0,24
CM1 (PI13)	Mina	25-2-10 13:10	6,1	41	12,5	582	0,05	0,23
CM2 (PI 7)	Mina	17-3-10 10:55	6,0	64	11,3	386	0,22	0,25
CN1 (PI 11)	Nascente	25-2-10 16:00	5,6	62	13,2	943	0,11	0,30
CN2 (PI 20)	Nascente	17-3-10 16:25	6,6	33	11,5	4,2	<l.d.	0,10
CR1 (PI 8)	Linha de água	17-3-10 15:45	5,5	27	9,4	17,4	0,03	0,03
<i>Mediana:</i>			6,1	62	12,5	386	0,15	0,24
<i>Média:</i>			6,7	142	15,5	392	0,14	0,31
<i>Desvio padrão:</i>			1,3	165	7,1	346	0,09	0,31

l.d. - Limite de detecção

Os valores mais baixos registados correspondem a um ponto amostrado numa linha de água superficial (CR1) e numa nascente (CN2) inacessível no ponto de emergência, na qual a água escorre pelo maciço rochoso durante alguns metros, antes de ser possível a colheita para amostragem. Estas situações de fluxos de água em contacto com o ar são altamente propícias à libertação deste gás para a atmosfera, diminuindo drasticamente os valores de actividade do gás radão, o que explicará os baixos valores registados nestas amostras (figura 137). Por esse motivo, estas amostras não serão representativas dos valores de concentração de gás radão na área das Caldas da Cavaca.

A concentração de gás radão não parece, na área das Caldas da Cavaca, estar relacionada com os parâmetros hidrogeológicos da água amostrada (quadro 25), tais como o pH, a condutividade eléctrica e a temperatura, bem como as fácies hidroquímicas da água. Este facto foi já também registado em vários outros estudos (eg., Choubey et al., 2003; Ferreira et al., 2010; Costa et al., 2010; Pereira et al., 2010). Não foi identificada também uma correlação entre a cota de ocorrência ou a profundidade dos furos de captação e a concentração de gás radão na água.

Assim, as variações do gás radão na água poderão ficar a dever-se a variações locais de factores como a concentração de urânio, as fases mineralógicas da rocha, a permeabilidade e as condições locais da fracturação por onde circula a água subterrânea (LeGrand, 1987; Choubey et al., 2003; Ferreira et al., 2010; Costa et al., 2010; Pereira et al., 2010).

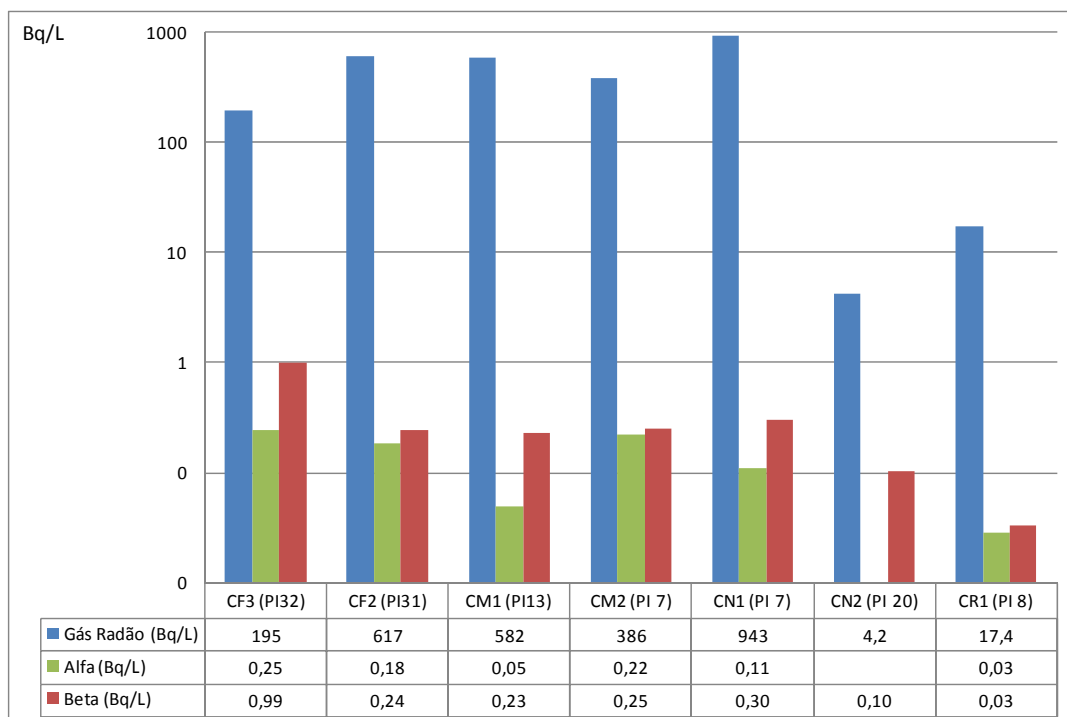


Figura 136 – Valores de gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) e actividade  $\alpha$  e  $\beta$ , nas amostras da área das Caldas da Cavaca.

Em termos de distribuição espacial, é visível na figura 137 uma concentração dos valores mais elevados de  $^{222}\text{Rn}$  na área deprimida do fundo do vale, em redor do balneário das Caldas da Cavaca. Nesta área, tal como se observa na figura, confluem os principais sistemas de fracturas e nesta intersecção da fracturação poderá ser favorecida a circulação profunda de água subterrânea. As elevadas actividades de gás radão nela dissolvido poderão resultar da presença em algumas das fracturas de mineralizações secundárias de urânio (cf. Pereira et al., 2010). Os valores mais elevados parecem também estar associados a contextos de falhas ou fracturas de orientação preferencial NNE – SSW a NE – SW.

Os valores de actividade  $\alpha$  e  $\beta$  agora registados (quadro 25) são superiores aos referidos por Espinha Marques (2008a) no furo 3 (CF3), com valores de 0,079 Bq/L e 0,203 Bq/L, respectivamente. No furo 2 (CF2) os valores agora registados são inferiores aos referidos por Espinha Marques (2008b), que se situavam em 0,324 Bq/L e 0,418 Bq/L, respectivamente. O valor de actividade  $\beta$  referido por Espinha Marques et al. (2004), para análise realizada em 2000 no Furo Novo era de 0,345 Bq/L. Em qualquer dos casos, os valores registados cumprem o limite máximo imposto pela legislação nacional (Decreto-Lei nº306/2007) para a actividade  $\alpha$  total (0,5 Bq/L) e  $\beta$  total (1Bq/L).

Os baixos valores obtidos relativamente aos parâmetros de radiação  $\alpha$  e  $\beta$ , indicam também como muito provável ausência de outros radionuclídeos ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  e  $^{226}\text{Ra}$ ).

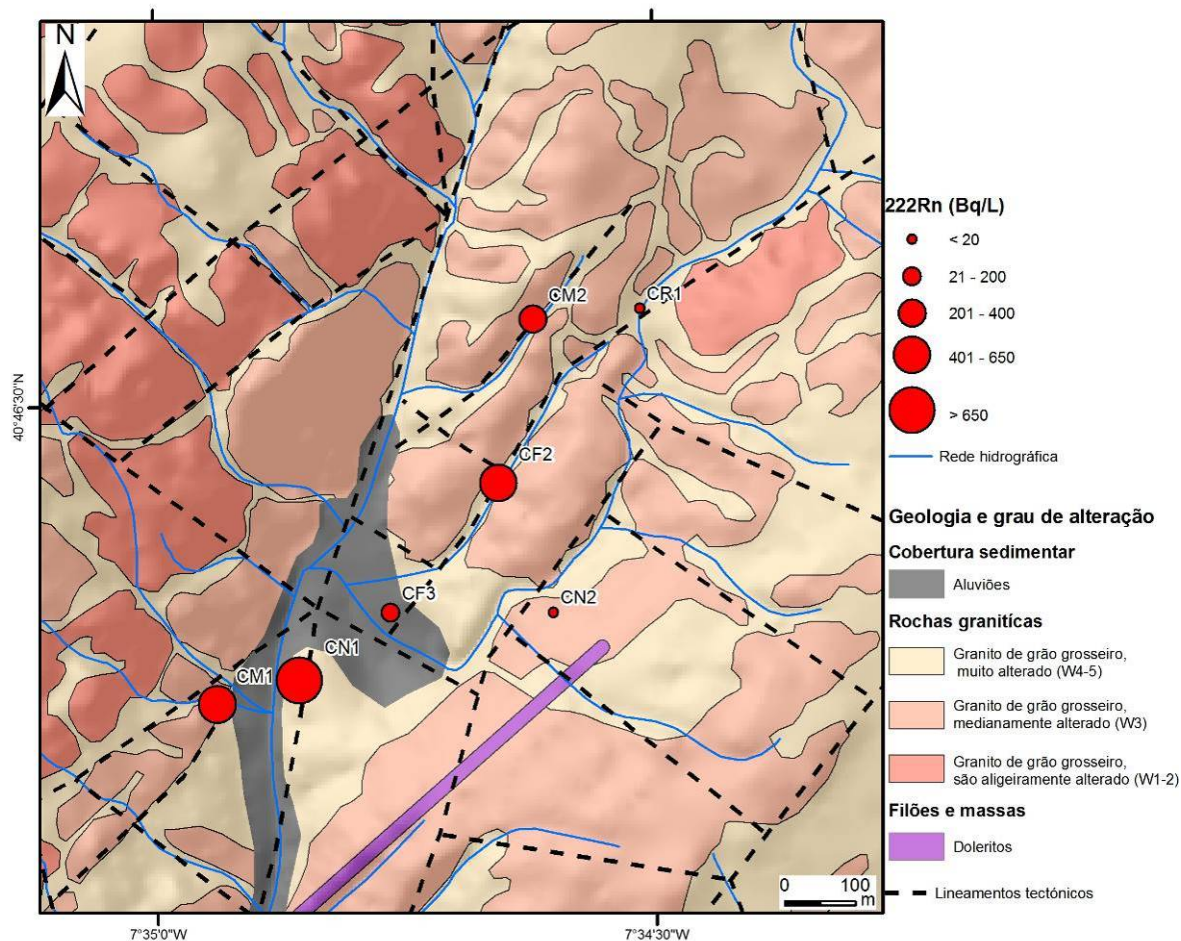


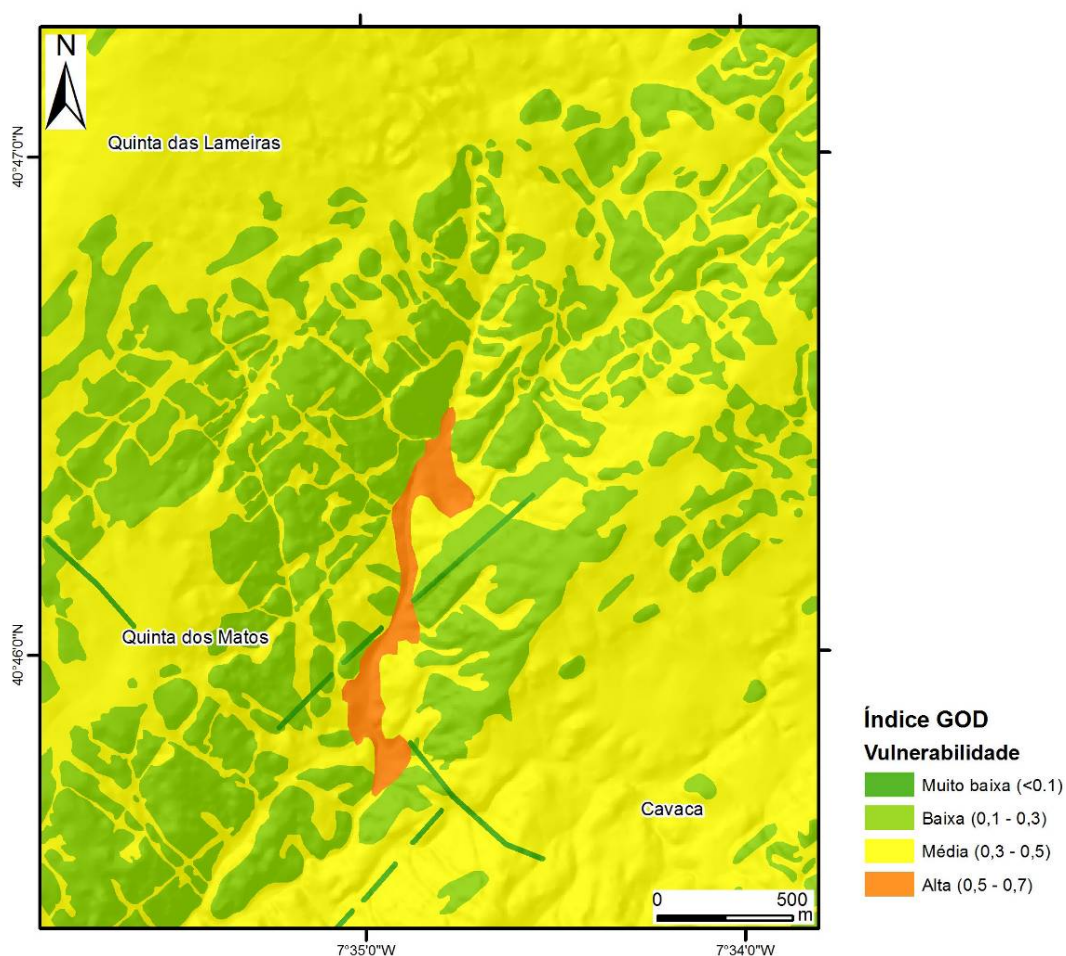
Figura 137 – Valores de gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) na área das Caldas da Cavaca.

### 5.3.5.3. Unidades hidrogeológicas

Tendo em conta os resultados apresentados nos pontos anteriores, sintetizam-se no quadro 26 as unidades hidrogeológicas locais identificadas na área das Caldas da Cavaca. Os tipos de aquíferos identificados na área das Caldas da Cavaca correspondem a três tipos (Carvalho et al., 2005a), a saber: a) um aquífero hidromineral profundo de ciclo longo, confinado, correspondente às águas minerais das Caldas da Cavaca; b) um aquífero granítico, descontínuo, livre a semi-confinado; c) um aquífero livre e superficial instalado na cobertura aluvionar. A vulnerabilidade à contaminação foi avaliada pelo método GOD (Foster et al., 2002), cujos resultados se apresentam na figura 138 e figura 139 apresenta-se o esboço hidrogeológico da área das Caldas da Cavaca.

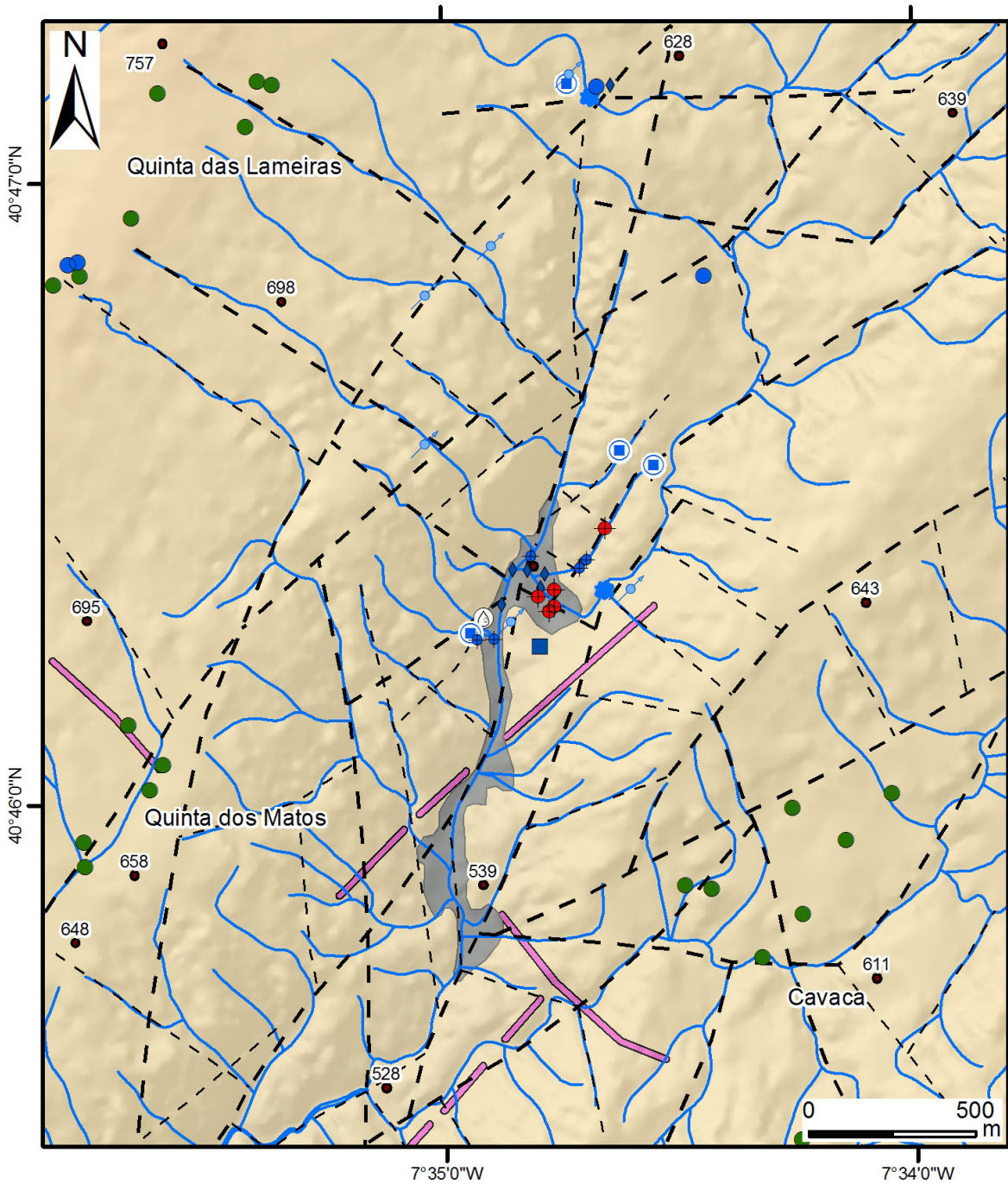
Quadro 26 - Unidades hidrogeológicas definidas para a área das Caldas da Cavaca.

Designação	Cobertura aluvionar	Aquífero descontínuo granítico	Aquífero hidromineral das Caldas da Cavaca
Litologia	Areias e lodos	Granito porfíroide de grão grosseiro	Granito porfíroide de grão grosseiro
Tipo de permeabilidade	Intersticial	Fissural nas áreas de granito são a pouco alterado e intersticial nas áreas de granito muito alterado a decomposto	Fissural
Acessibilidade ao recurso	Poços e drenos até à profundidade de 5 m	Furos verticais e horizontais até 100 m	Furos verticais até 200 m
Caudais de exploração supostos (l/s)	0,5	0,5	5
Risco de insucesso associado à captação	baixo a elevado	elevado	baixo a moderado
Sustentabilidade de caudais	pequena	pequena	grande
Tipo de água	hipossalina	hipossalina	sulfúrea sódica
Vulnerabilidade e risco à poluição (índice GOD)	Alta	Baixa nas áreas de granito são a pouco alterado; Média nas áreas de granito muito alterado a decomposto	Podem ser alta na área envolvente às captações



	Unidades hidrogeológicas				
	Colúviões e/ou eluviões	Granito monzonítico porfíroide, de grão grosseiro, são a pouco alterado	Granito monzonítico porfíroide, de grão grosseiro, medianamente alterado	Granito monzonítico porfíroide, de grão grosseiro, muito alterado a decomposto	Filões doleríticos
<b>G</b>	livre	confinado / semi-confinado	confinado / semi-confinado	semi-confinado / livre	confinado
<b>O</b>	areias e cascalhos aluvionares	formações magmáticas	formações magmáticas	formações magmáticas	formações magmáticas
<b>D</b>	< 5 m	5-20 m	5-20 m	< 5 m	5-20 m

Figura 138 - Índice de vulnerabilidade GOD, para as unidades hidrogeológicas da área das Caldas da Cavaca.



**Unidade hidrogeológicas**

- Aluviões
- Granito porfíroide de grão grosseiro
- Filões doleríticos

**Lineamentos tectónicos**

- 1ª ordem
- 2ª ordem
- Rede hidrográfica
- Altitude (m)

**Inventário hidrogeológico**

- Furo de água mineral
- Furo de água normal
- Nascente
- Poço
- Mina
- Fonte
- Charca / Represa
- Cisterna
- Linha de água
- Poços (cadastrados na carta militar 1/25.000)

Figura 139 – Esboço hidrogeológico da área das Caldas da Cavaca.



---

O aquífero hidromineral profundo, de águas sulfúreas sódicas, parece estar associado à permeabilidade fissural do maciço granítico, em profundidade (Carvalho et al., 2005a; Carvalho, 2006). Esta permeabilidade acrescida está, possivelmente, associada a um nó tectónico originado pela intersecção entre duas famílias principais de descontinuidades: uma com orientação N-S a NNE-SSW, inclinando aparentemente 70°-80° para W, e outra, com orientação NW-SE com inclinação subvertical. A vulnerabilidade à contaminação do aquífero mineral pode considerar-se elevada na área envolvente às captações.

O aquífero descontínuo granítico apresenta também permeabilidade fissural, podendo apresentar permeabilidade intersticial nas áreas mais alteradas do maciço (Carvalho et al., 2005a). A circulação de águas normais é descontínua, e ocorre, também, a pequenas profundidades. A vulnerabilidade desta unidade hidrogeológica é baixa nas áreas de granito são a pouco alterado e média nas áreas de granito muito alterado a decomposto.

Na pequena cobertura aluvionar situada nas margens da Ribeira de Côja, constituída essencialmente por areias e lodos, ocorre um aquífero livre, com permeabilidade intersticial e com ligação hidráulica à rede hidrográfica, inferindo-se daí um grau de susceptibilidade à contaminação, geralmente elevado (Cerqueira et al., 2006). Esta unidade hidrogeológica apresenta um grau de vulnerabilidade à contaminação alto.

Do ponto de vista hidrodinâmico sabe-se pouco, à excepção do aquífero hidromineral para o qual se configuram caudais de exploração unitários da ordem de 1 a 4 L/s, fluxo subvertical na zona de descarga, transmissividades entre 45 e 135 m<sup>2</sup>/dia e condutividades hidráulicas e coeficientes de armazenamento avaliados em 2 m/dia e 10<sup>-4</sup>, respectivamente (Carvalho et al., 2005a; Teixeira et al., 2010a).

#### **5.3.5.4. Hidrogeofísica**

A zona de descarga do aquífero hidromineral foi alvo de dois levantamentos geofísicos com recurso a métodos geoelectricos, a saber: (i) um com tomografias eléctricas, realizado em 2003 (levantamento de tomografia eléctrica, coordenado pelos Profs. R. Moura e J. Espinha Marques do Centro de Geologia da Universidade do Porto), e (ii) outro com métodos electromagnéticos — condutímetro electromagnético *Geonics modelo EM34-3* —, realizado em 2004 (levantamento electromagnético da responsabilidade da Eng.<sup>a</sup> Geóloga Ricarda Moura; GeoSonda, 2004). Na discussão das condições hidrogeofísicas gerais da área em investigação foi efectuada, em 2004, uma visita ao terreno para preparar o levantamento geofísico da GeoSonda (2004), por parte do Prof. M. Senos Matias (Univ. de Aveiro) e dos Profs. J. M. Carvalho e H. I. Chaminé.

---

O levantamento electromagnético culminou na realização de um conjunto de perfis electromagnéticos sobre uma área de aproximadamente 3184 m<sup>2</sup>. No entanto, no conjunto do levantamento eléctrico e electromagnético, as profundidades não ultrapassaram os 50 m. Através dos mapas de condutividade eléctrica, na configuração dipolo vertical, foram identificadas estruturas geoelectricas definidas por alinhamentos de altos valores de condutividade, i.e., uma estrutura geoelectrica com direcção aproximada N-S a NNE-SSW, que se desenvolve em profundidade. A orientação desta estrutura é concordante com um dos principais sistemas de lineamentos tectónicos inferidos pela fotointerpretação, pelo modelo digital do terreno e pela cartografia geológico-estrutural e geomorfológica, ora apresentada.

No entanto, a estrutura inferida nos estudos anteriores, cuja localização provável foi um dos critérios para localização dos furos de captação realizados na campanha de 2006/07, aparenta ter maior continuidade, tendo sido reinterpretada à luz dos novos dados relativos às captações realizadas. A ocorrência de água mineral no Furo 2 (ponto de inventário 32) permitiu definir uma estrutura com direcção aproximada N30°E como a potencial condicionadora da circulação da água subterrânea na área das Caldas da Cavaca, uma vez que poderá corresponder a uma zona de maior permeabilidade do maciço granítico a qual permite a ascensão e a emergência de água mineral. Esta permeabilidade acrescida está, possivelmente, associada a um nó tectónico originado pela intersecção entre duas famílias principais de fracturas: uma com orientação N-S a NE-SW — inclinando aparentemente 70°-80° para W — e uma outra, com orientação NW-SE — de tendência subvertical. De referir a existência de uma outra família, discreta, com orientação W-E. A existência de fortes cargas hidráulicas, aliada ao abaixamento de densidade provocada pela temperatura e pelos gases em solução, pode ser a causa da ascensão das águas minerais num contexto claramente de nó tectónico (figura 140).

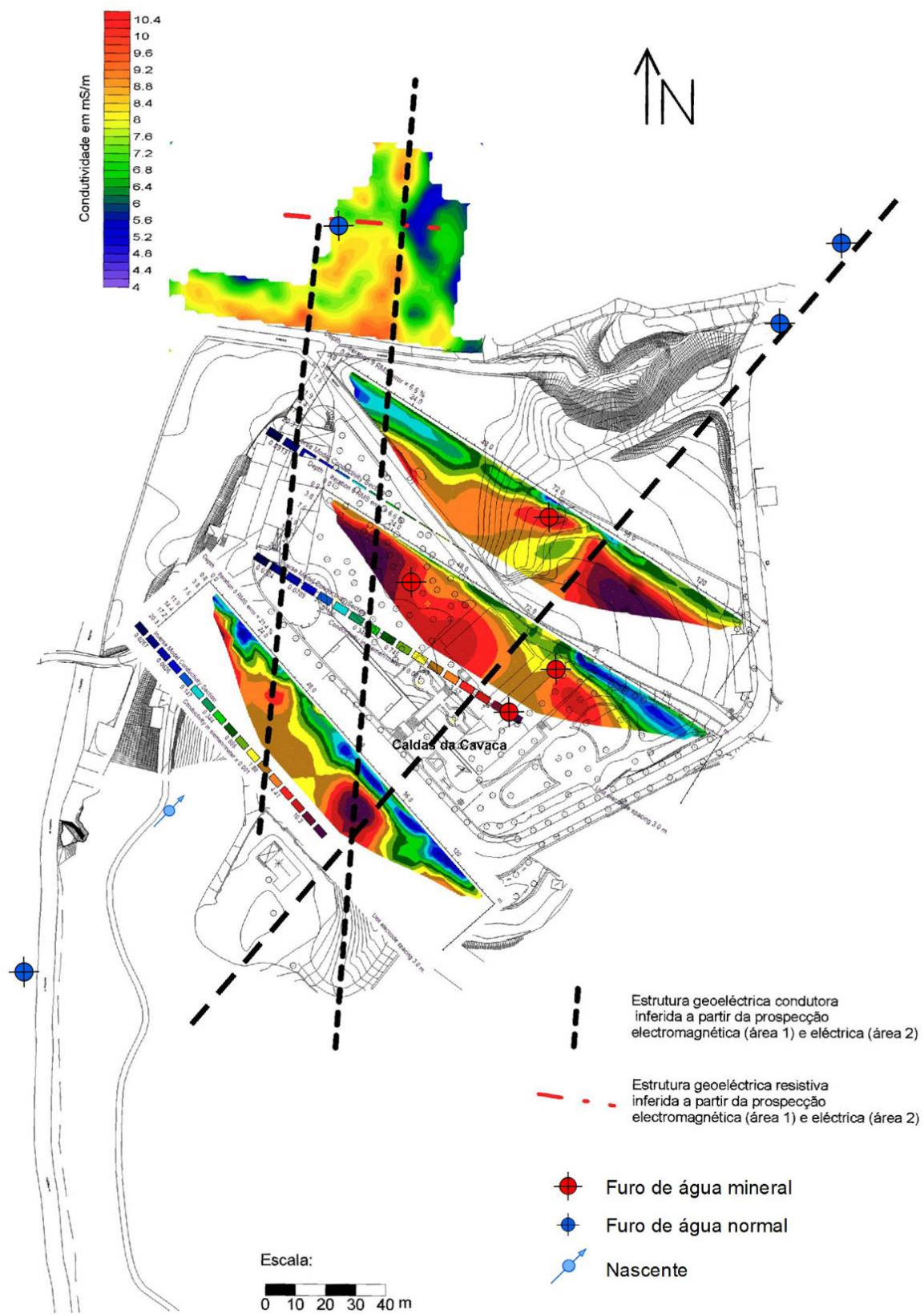


Figura 140 - Síntese interpretativa dos levantamentos geofísicos realizados na área das Caldas da Cavaca (adaptado de Espinha Marques et al., 2004; GeoSonda, 2004; TARH, 2005).

### 5.3.6. Cartografia hidrogeomorfológica: esboço do potencial de infiltração

A construção da cartografia hidrogeomorfológica, e nomeadamente do índice do potencial de infiltração, assentou na base SIG criada, e seguindo a abordagem metodológica apresentada no ponto 5.2. Seguidamente, apresentam-se os mapas temáticos produzidos, bem como os factores de ponderação e pesos específicos atribuídos a cada parâmetro, na área das Caldas da Cavaca.

Assim, os factores aos quais foi atribuído um maior peso correspondem à *litologia*, tendo em conta também o seu grau de alteração (20 %) e a *densidade do traço cartográfico dos lineamentos tectónicos* (20%) conforme descrito no capítulo 2. Com base nos critérios descritos, foram atribuídos pesos, conforme se indica no quadro 27, à litologia e grau de alteração do maciço, bem como à densidade de lineamentos tectónicos, dos quais resultaram os mapas das figuras 141 e 142.

Quadro 27 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores litologia / grau de alteração e densidade de lineamentos tectónicos.

Litologia / Grau de alteração	Peso específico	Densidade de lineamentos tectónicos	Peso específico
Terraços, aluviões	20	Alta (> 21/km <sup>2</sup> )	20
Granito são a pouco alterado	5	Média (14-21/km <sup>2</sup> )	15
Granito medianamente alterado	10	Baixa (7-14/km <sup>2</sup> )	10
Granito muito alterado	18	Muito baixa (< 7/km <sup>2</sup> )	5
Filões	15		

A distribuição das áreas de rocha granítica mais alterada (figura 141) sugere estar condicionada pela morfologia da região de estudo. Estas concentram-se sobretudo nas áreas mais aplanadas, junto das povoações de Quinta das Lameiras, da Quinta dos Matos e da Cavaca. Verificou-se também que a rocha granítica mais alterada ocorre geralmente ao longo das principais linhas de fracturação do maciço, identificadas à escala cartográfica. As áreas onde o granito medianamente alterado aflora parece corresponder a um grande corredor com cerca de 1 km de largura, com direcção geral NW-SE. De referir ainda que esta corresponde também à direcção preferencial das estruturas do tipo falha (N30° - 40°E), à escala do maciço, identificadas anteriormente. Os afloramentos de granito são a ligeiramente alterado parecem estar confinados a uma área restrita, entre a povoação de Quinta dos Matos e Quinta das Lameiras, localizando-se quase exclusivamente a Oeste do vale da Ribeira de Côja, materializando, por vezes, estruturas sigmoidadas, identificadas através da fotointerpretação dos lineamentos tectónicos. Estes afloramentos configuram, na sua generalidade, vertentes mais escarpadas, na margem direita da Ribeira de Côja, tal

como se evidenciou a propósito das condições geomorfológicas da área (cf. figura 75 e figura 129).

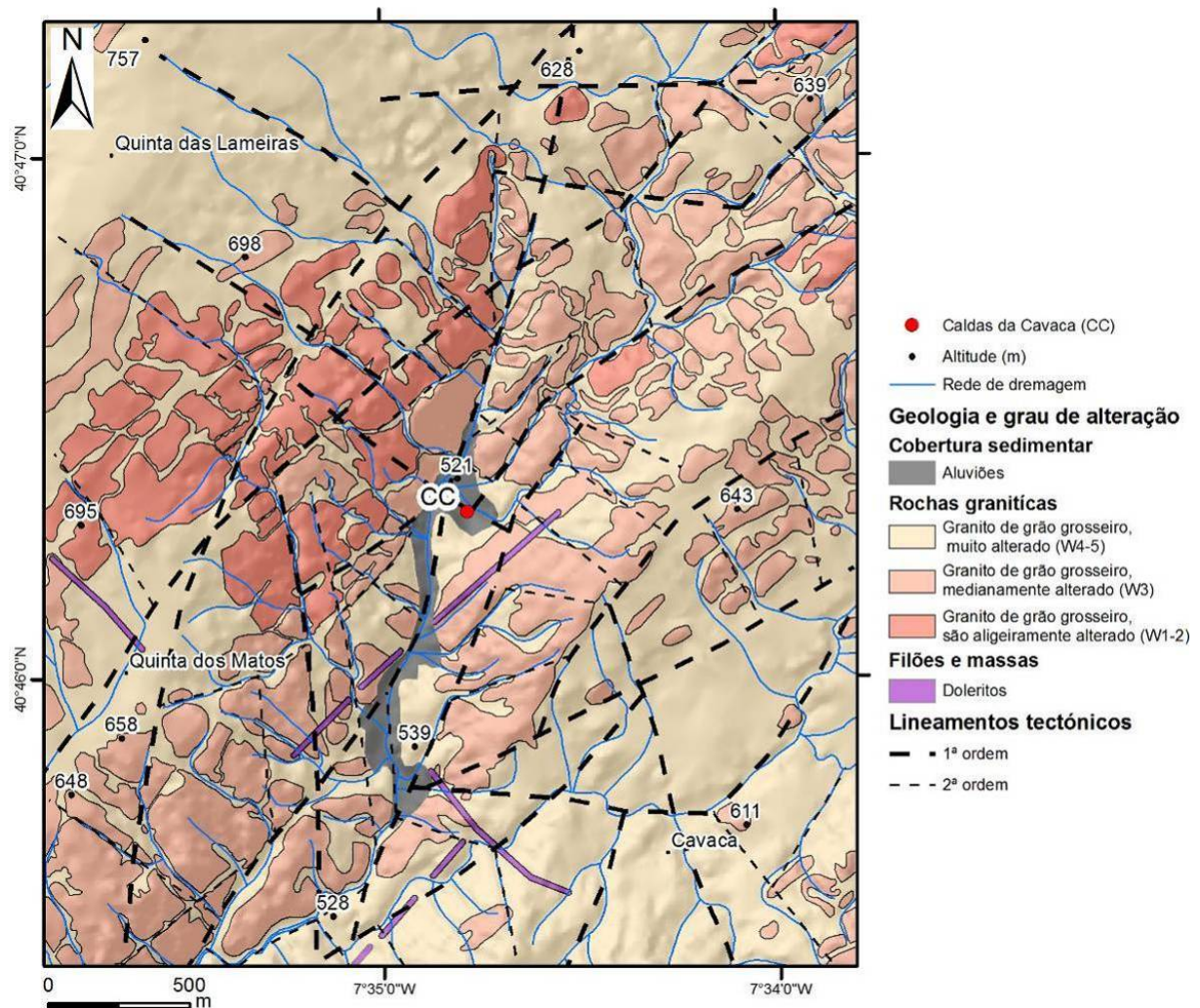


Figura 141 – Mapa da litologia e grau de alteração superficial da área das Caldas da Cavaca.

Relativamente à densidade de lineamentos tectónicos, esta aparenta, apesar da maior dispersão natural, decalcar o referido corredor de direcção NE-SW. De referir ainda que as maiores concentrações de localizam na área junto ao balneário das Caldas da Cavaca, bem como noutras áreas de menor dimensão, localizadas quer a Norte quer a Sul deste local, na continuação de estruturas de direcção NNE-SSW a NE-SW (figura 142).

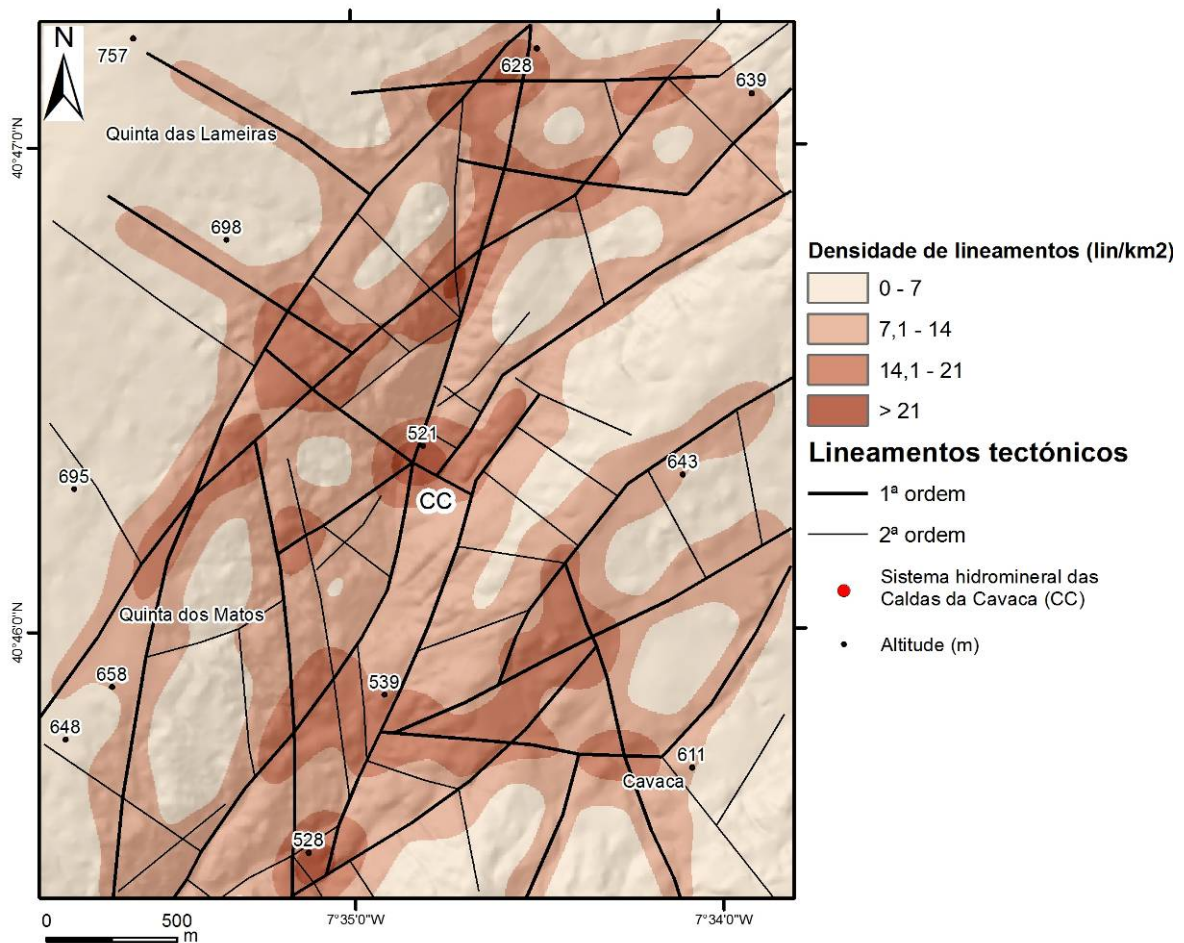


Figura 142 - Mapa da densidade de lineamentos tectónicos da área das Caldas da Cavaca.

A *ocupação do solo* é também um importante factor no potencial de infiltração de uma determinada área, uma vez que, como foi visto no capítulo 2. Assim, atribuiu-se um peso máximo de 15% às áreas florestais, peso este que varia gradualmente, até se atingirem valores nulos em áreas impermeabilizadas (quadro 28). O mapa resultante é apresentado na figura 143.

Uma vez que a cartografia de ocupação do solo disponível para a área da Cavaca era demasiado generalista (às escalas 1/25.00 e 1/100.000) e desactualizada, procedeu-se à sua actualização através da análise de ortofotomapas relativos ao ano de 2006. Assim, identificaram-se dois grandes tipos de ocupação do solo, com limites geográficos bem marcados: as áreas florestais, associadas também a áreas agrícolas (de sequeiro) que se concentram sobretudo na área NW, junto às povoações de Quinta das Lameiras e de Quinta dos Matos, bem como junto à povoação da Cavaca, localizada a SE; materializando as áreas de rocha menos alterada referidas anteriormente, surge uma área de afloramentos rochosos, ladeada em geral por vegetação arbustiva. No seio desta última área surgem, de

forma descontínua e em pequenas manchas, áreas agrícolas e florestais. De assinalar ainda que, algumas destas áreas agrícolas, nomeadamente junto às Caldas da Cavaca, se encontram actualmente abandonadas.

Quadro 28 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores ocupação do solo e densidade da rede de drenagem.

Ocupação do solo	Peso específico
Estradas	1
Áreas urbanizadas	2
Afloramentos rochosos	5
Floresta	15
Agricultura (sequeiro)	12
Vegetação arbustiva	10

Densidade da rede de drenagem	Peso específico
Muito baixa (< 3,5/ km <sup>2</sup> )	15
Baixa (3,5 - 7/ km <sup>2</sup> )	13
Média (7 - 10,5/ km <sup>2</sup> )	10
Alta (> 10,5 / km <sup>2</sup> )	8

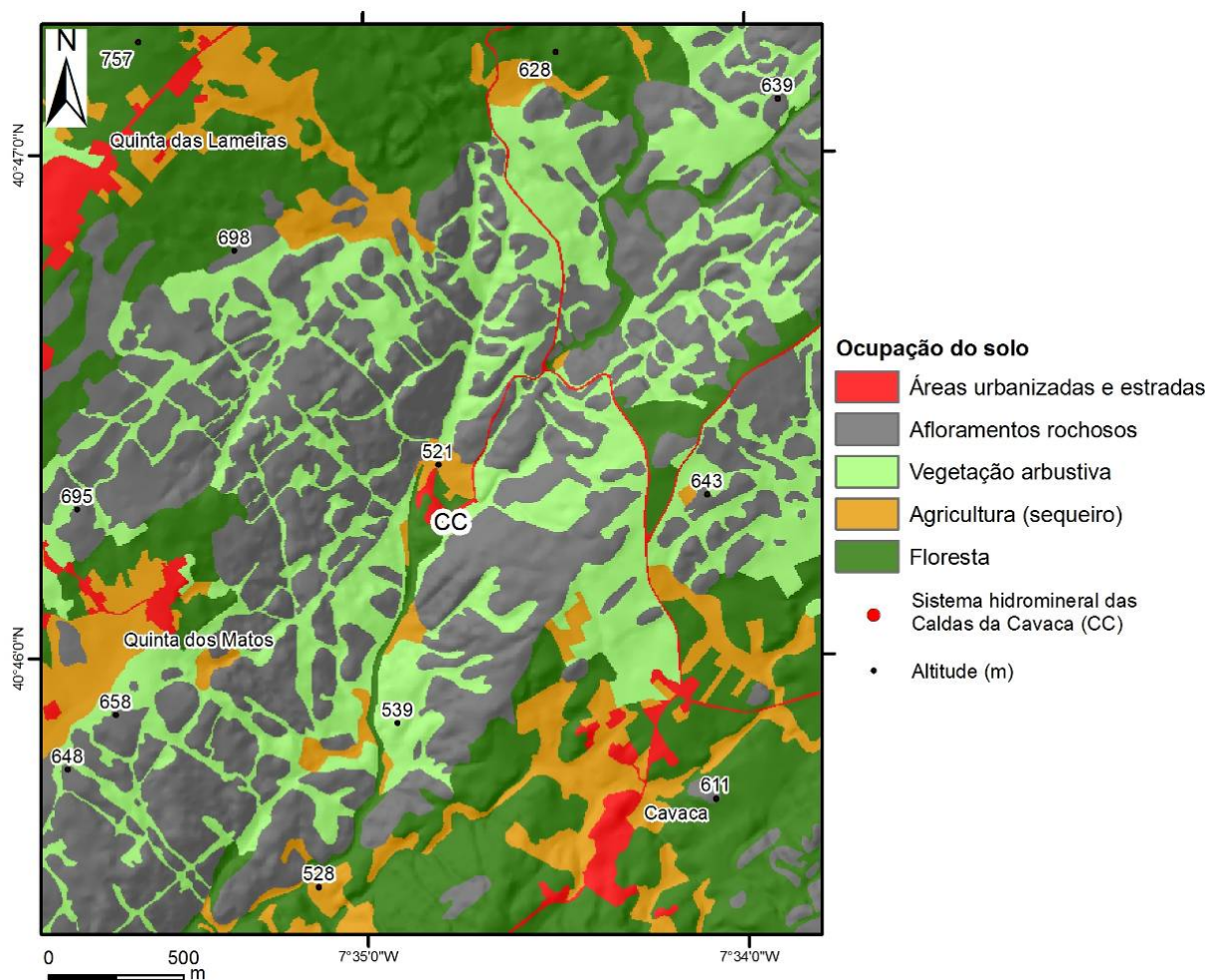


Figura 143 – Mapa da ocupação do solo da área das Caldas da Cavaca (reinterpretado com base no ortofotomapa de 2006).

Relativamente à *densidade da rede de drenagem*, i.e., o número de km de linha de água por km quadrado, ficou demonstrado, em estudos recentes, a importância da sua utilização em estudos hidrogeomorfológicos. Apesar do seu padrão reflectir, principalmente em áreas de rochas cristalinas, o padrão de fracturação da área, vários autores relacionam a sua densidade com a circulação e percolação de água subterrânea. Assim, no sentido geomorfológico, indicado por vários autores (e.g. Chowdary et al., 2003; Jaiswal et al., 2003; Sener et al., 2005; Sreedevi et al., 2005; Jha et al., 2007; Sander, 2007; Yeh et al., 2009; Ballukraya & Kalimuthu, 2010; Elewa & Qaddah, 2011) o escoamento superficial será uma função inversa da circulação subterrânea (i.e., quanto maior for a quantidade de água que se escoar superficialmente, menor será a quantidade disponível para infiltração e recarga dos aquíferos). Nesse sentido, foi atribuído um peso superior às áreas com menor densidade de drenagem (quadro 28, figura 144).

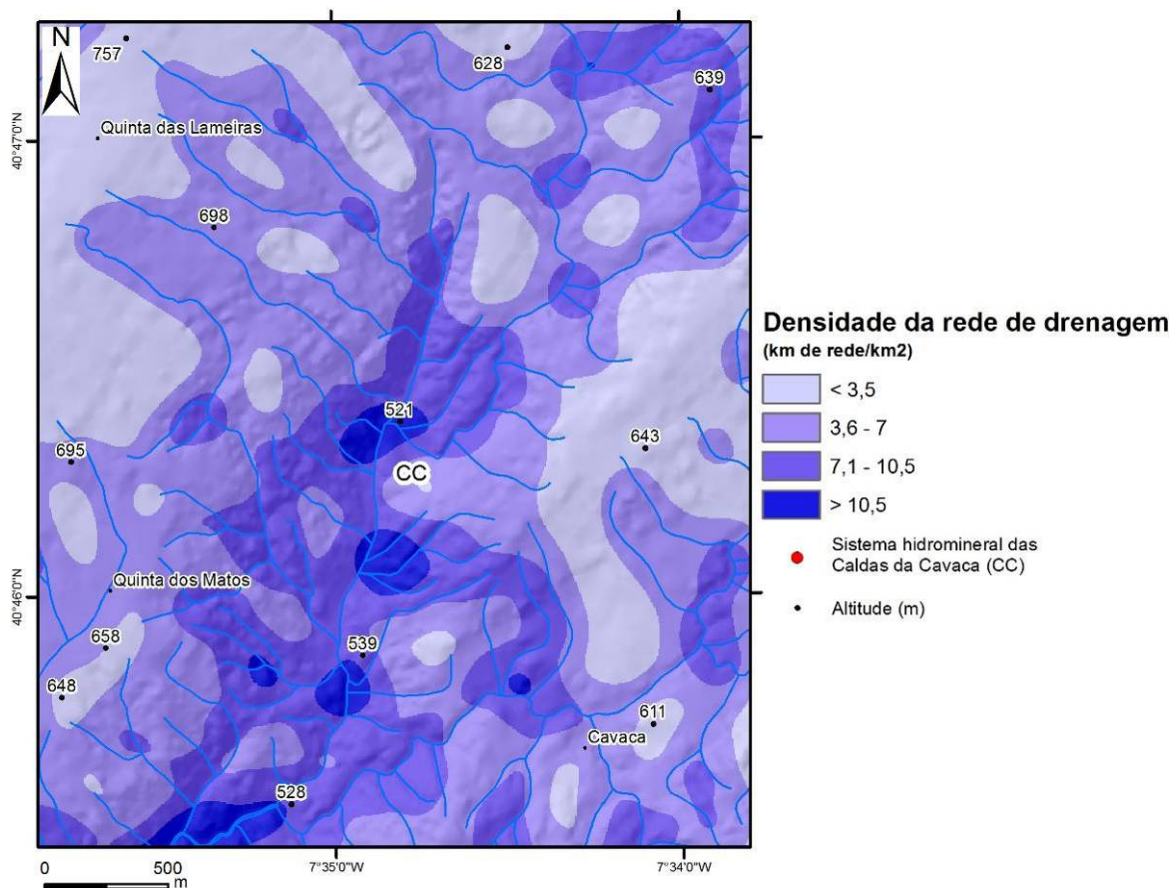


Figura 144 – Mapa da densidade da rede de drenagem da área das Caldas da Cavaca.

Os *declives* apresentam-se também como um factor muito importante na explicação do potencial de infiltração de uma determinada área e, por isso, foi-lhe atribuído um peso máximo de 20%, que corresponderá às áreas planas, ou com declives inferiores a 5°



(quadro 29). O tempo de permanência da água superficial num determinado local é uma função inversa dos valores de declive nesse mesmo local, sendo por isso atribuídos aos declives mais elevados um menor peso específico. A análise da figura 145 permitiu identificar uma série de áreas de declives muito baixos, junto às localidades da Quinta das Lameiras, da Cavaca e da Quinta dos Matos. Os declives mais elevados encontram-se concentrados nas vertentes da margem direita da Ribeira de Côja e nalguns dos seus afluentes, sobretudo na área a Norte das Caldas da Cavaca.

Quadro 29 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores declives e precipitação.

Declives	Peso específico	Precipitação	Peso específico
Muito baixo (0° - 5°)	20	> 1200 mm/ano	10
Baixo (5° - 15°)	15	1100 - 1200 mm/ano	8
Médio (15° - 25°)	10	1000 - 1100 mm/ano	6
Alto (> 25°)	5	< 1000 mm/ano	4

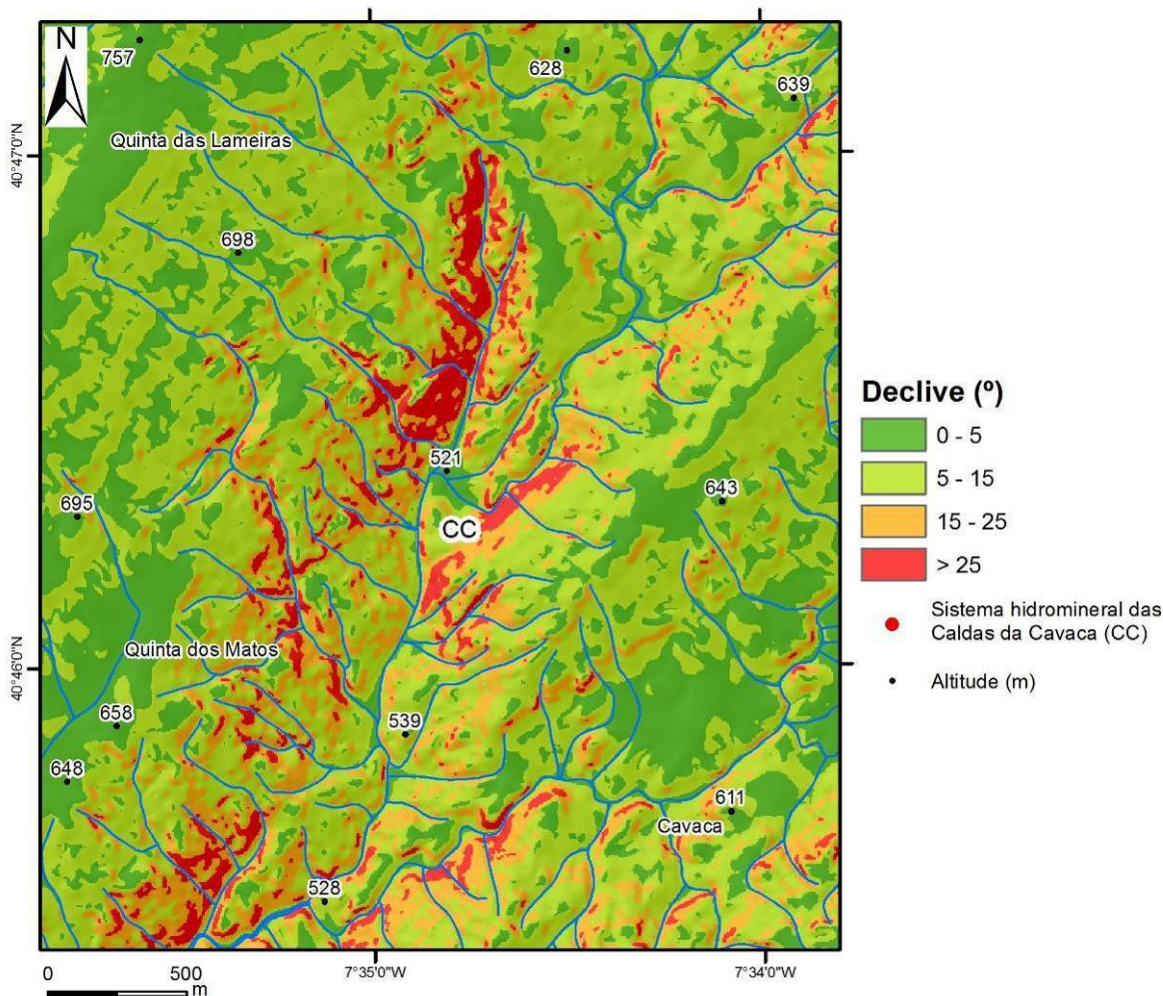


Figura 145 – Mapa de declives da área das Caldas da Cavaca.

A *precipitação* apresenta, no caso concreto das Caldas da Cavaca, variações espaciais pouco acentuadas, tendo em conta os dados disponíveis nas estações climatológicas da área envolvente às Caldas da Cavaca (INAG, 2009), bem como foi identificado, através do cálculo do balanço hidrológico anteriormente apresentado um *superavit* hídrico nos meses de Novembro a Maio. Atribuiu-se um peso máximo de 10 % à precipitação (quadro 29). O mapa resultante pode ser observado na figura 146.

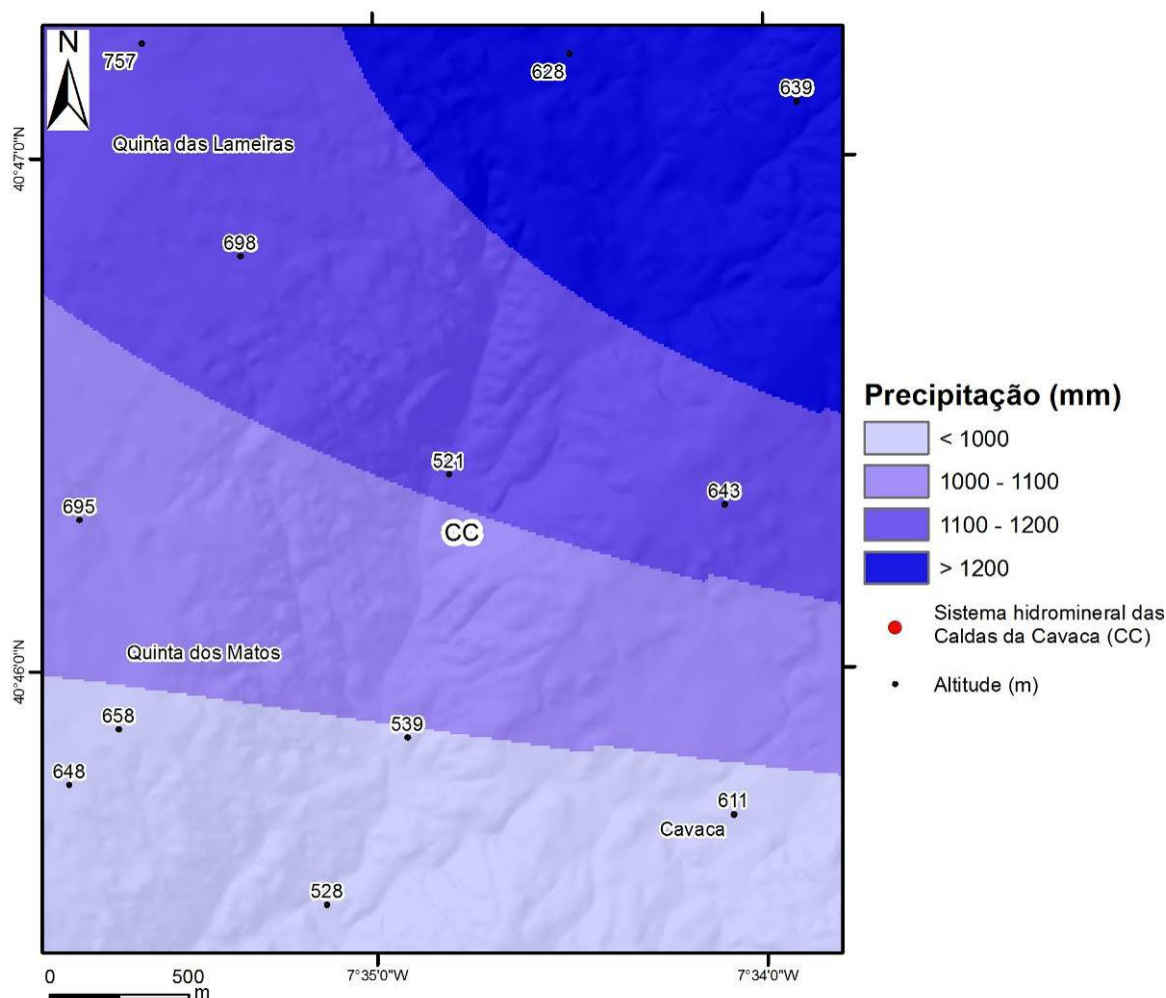


Figura 146 – Mapa da precipitação média anual da área das Caldas da Cavaca.

O cruzamento destes dados, em ambiente SIG, resultou num mapa em perspectiva tridimensional (figura 147), no qual é possível identificar as áreas com maior potencial de infiltração, isto é, as áreas em que a combinação de todos os factores enunciados é mais elevada. Os valores calculados foram então agrupados em quatro classes: muito baixo (<25), baixo (25-50), médio (50-75) e alto (75-100).

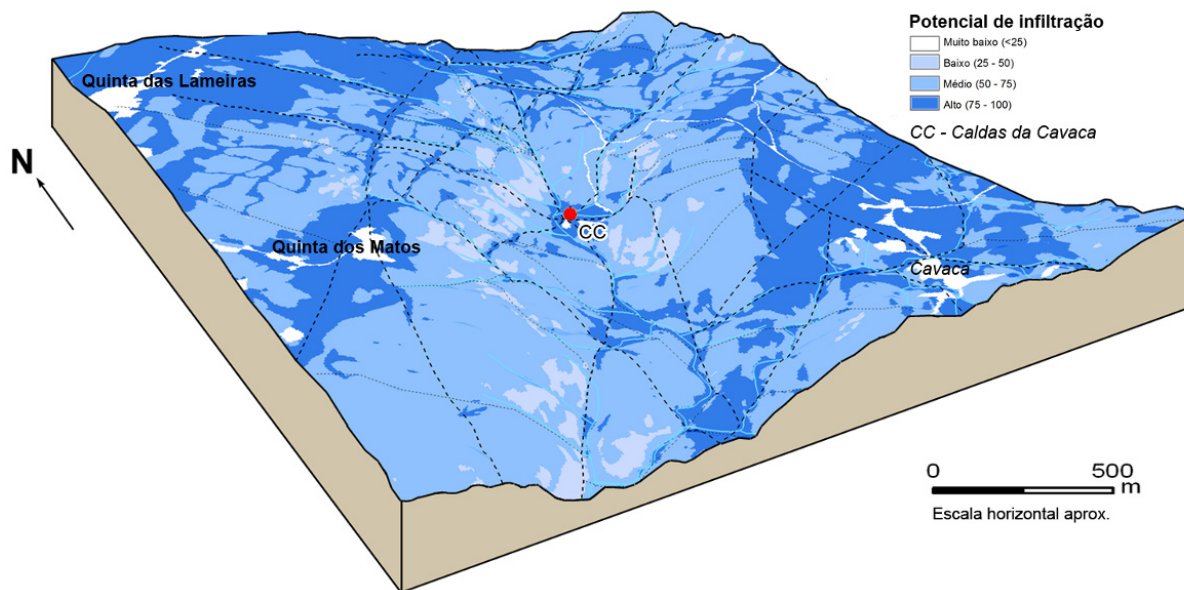


Figura 147 – Potencial de infiltração da área das Caldas da Cavaca.

A sobreposição deste mapa com o esboço geomorfológico permite assim uma leitura integradora dos locais mais relevantes em termos de infiltração na área das Caldas da Cavaca, contribuindo também para o refinamento do modelo hidrogeológico conceptual que se apresenta nos parágrafos seguintes. Da leitura do mapa, ressalta que as áreas com maior potencial de infiltração (Figura 148) estão localizadas sobretudo junto às povoações da Quinta dos Matos, da Quinta das Lameiras e da Cavaca. Estas áreas caracterizam-se por serem planálticas, nas quais o granito se apresenta em geral mais alterado, e a densidade de lineamentos tectónicos é mais elevada. O fundo do vale da Ribeira de Côja, nomeadamente junto às Caldas da Cavaca, apresenta também elevado poder de infiltração, que resulta da combinação dos factores principais: litologia (cobertura sedimentar) e declives baixos (fundo de vale aplanado). No entanto, esta área do fundo do vale não deverá contribuir para a recarga do aquífero profundo, de onde se extraem as águas minerais, cuja área de recarga deverá estar localizada a cotas mais elevadas. As tentativas de captação de águas normais, quer através de furos horizontais quer de furos verticais, revelaram-se improdutivas, pelo que se poderá concluir que a água infiltrada nesta área será devolvida rapidamente às linhas de água, com as quais a cobertura aluvionar terá ligação hidráulica. As áreas de médio potencial de infiltração correspondem sobretudo a áreas de vertente, e estão relacionadas sobretudo com a presença de áreas graníticas menos alteradas e menos fracturadas, e em que os declives apresentam valores por vezes elevados. As áreas construídas e impermeabilizadas, junto das povoações da Cavaca e da Quinta das Lameiras, apresentam potencial de infiltração muito reduzido.

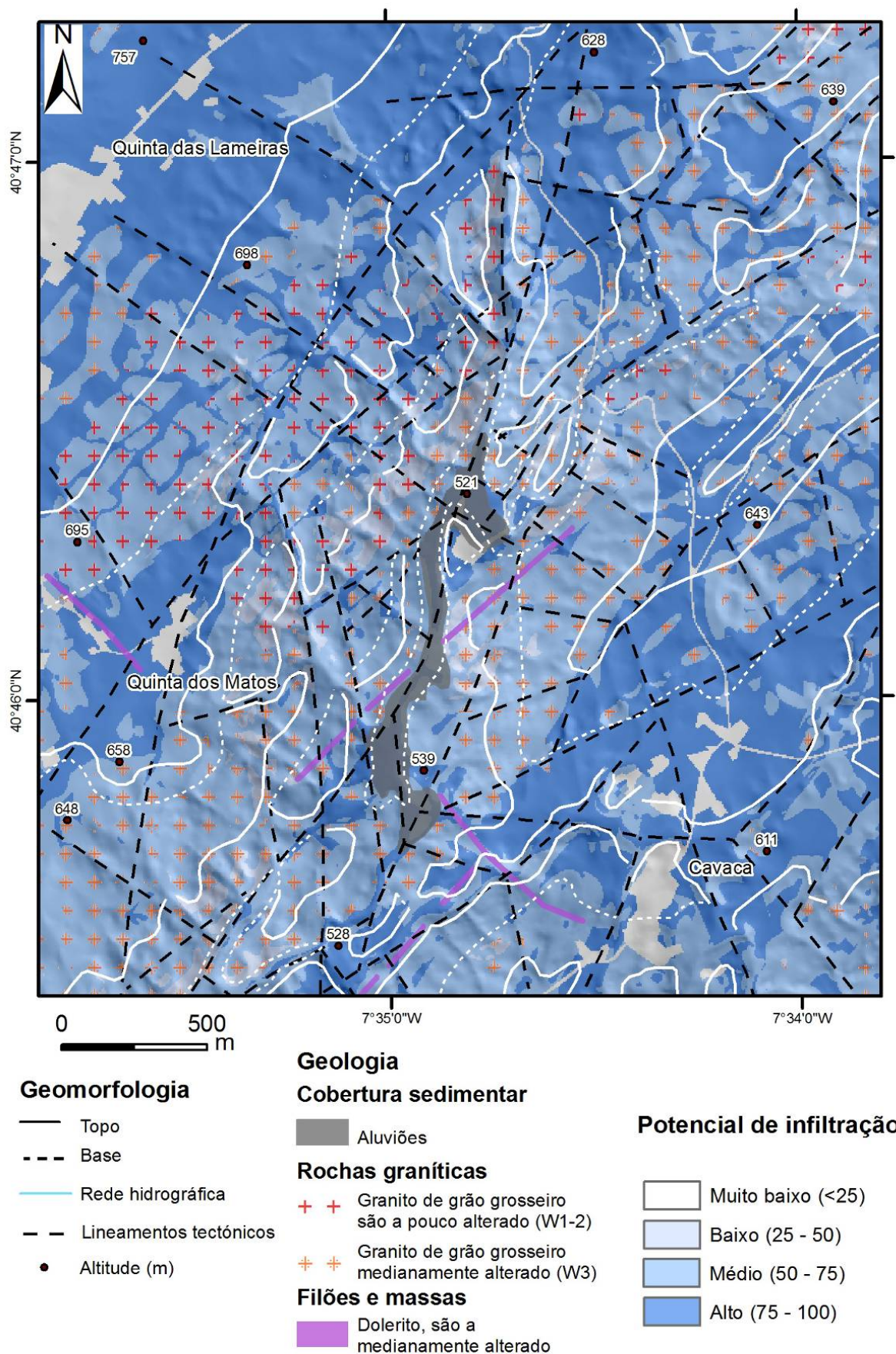


Figura 148 – Mapa hidrogeomorfológico da área das Caldas da Cavaca: o potencial de infiltração.

---

## 5.4. Pólo da Noninha, Alvarenga (Arouca)

### 5.4.1. Considerações iniciais

Os resultados aqui apresentados e discutidos correspondem às investigações hidrogeológicas e hidrogeomorfológicas desenvolvidas no vale designado por “*Ribeira da Noninha*”. Este faz parte da bacia hidrográfica do rio Paiva e localiza-se em Alvarenga (concelho de Arouca), no extremo NW do Distrito de Aveiro. No âmbito destas actividades foram realizadas operações de prospecção hidrogeológica, incluindo uma recolha exaustiva de documentação hidro-bibliográfica, cuja informação foi cruzada com a interpretação cartográfica, fotogeológica, geomorfológica e geológico-estrutural a diversas escalas. Os estudos desenvolvidos assentaram numa perspectiva integradora dos dados geotectónicos, geomorfológicos, hidrogeológicos e hidrogeomorfológicos da área das emergências designadas por nascente de S. Pedro das Meadinhos e área envolvente, visando a definição de um modelo conceptual hidrogeológico que apoiou uma série de intervenções de prospecção e pesquisa. É aqui devido um agradecimento às empresas JAPP, Lda e TARH, Lda, pela cedência e autorização do tratamento de alguns dados técnicos e científicos sobre os trabalhos realizados na área envolvente às nascentes de S. Pedro das Meadinhos, doravante designadas por Águas de Arouca (DGEG, 2009).

De referir que o signatário acompanhou e participou nos estudos de prospecção hidrogeológica (TARH, 2010) coordenados pelo Prof. J. Martins Carvalho e pelo Prof. H. I. Chaminé, especialmente em todas as fases de terreno e de laboratório, e procedeu a várias campanhas de campo (2008 a 2011) no âmbito do seu projecto de investigação. Durante o decurso desta dissertação, nomeadamente entre 30 de Março de 2009 e 15 de Maio de 2009 foram realizados, junto à nascente de S. Pedro das Meadinhos, dois furos de pesquisa com comprimentos de 150 m, sub-horizontais, com mergulho de 5° (azimutes de N160°E e N90°E), cujos trabalhos foram acompanhados pelo signatário, retomando-se aqui os dados recolhidos.

A área investigada localiza-se na povoação da Noninha, freguesia de Alvarenga e Concelho de Arouca, em plena Serra de Montemuro. O Concelho de Arouca abrange uma área de 327 km<sup>2</sup>, situando-se no extremo NW do Distrito de Aveiro. Está integrado na NUT III (Nomenclatura de Unidade Territorial para fins Estatísticos) do Entre Douro e Vouga, da região Norte de Portugal, juntamente com os Concelhos de Santa Maria da Feira, de Oliveira de Azeméis e de Vale de Cambra, e de S. João da Madeira. Fazem fronteira com o

---

seu território os municípios de S. Pedro do Sul, de Castro Daire, de Cinfães, de Castelo de Paiva e de Gondomar e, ainda, os referidos municípios de Santa Maria da Feira, de Oliveira de Azeméis e de Vale de Cambra.

O vale da Noninha é rasgado por uma estrada de alcatrão, que liga a povoação da Noninha ao alto da Serra de S. Pedro. No alto da Pedra Posta e, em plena Serra de S. Pedro, as acessibilidades são actualmente razoáveis, graças à construção e manutenção de uma rede de caminhos que dá apoio aos parques eólicos instalados no topo da ossatura serrana (figura 149 e figura 150). Nos restantes locais, os caminhos de pé-posto dão acesso aos locais mais remotos da Serra de S. Pedro. Esta rede de caminhos foi importante na fase de inventário de campo, facultando acesso à maioria das nascentes e outros pontos de água singulares. O declínio da intensa actividade agrícola e pastorícia do passado, mesmo nos terrenos férteis do fundo do vale, bem como a construção da estrada que liga ao alto da Serra de S. Pedro, levaram ao abandono dos caminhos tradicionais, e à sua consequente invasão por vegetação arbustiva e herbácea, por vezes impossível de transpor.



Figura 149 – Panorâmica da Serra de S. Pedro e da Nascente de S. Pedro das Meadilhas (a); aspecto geral do vale da Ribeira da Noninha em Junho de 2008 (b).

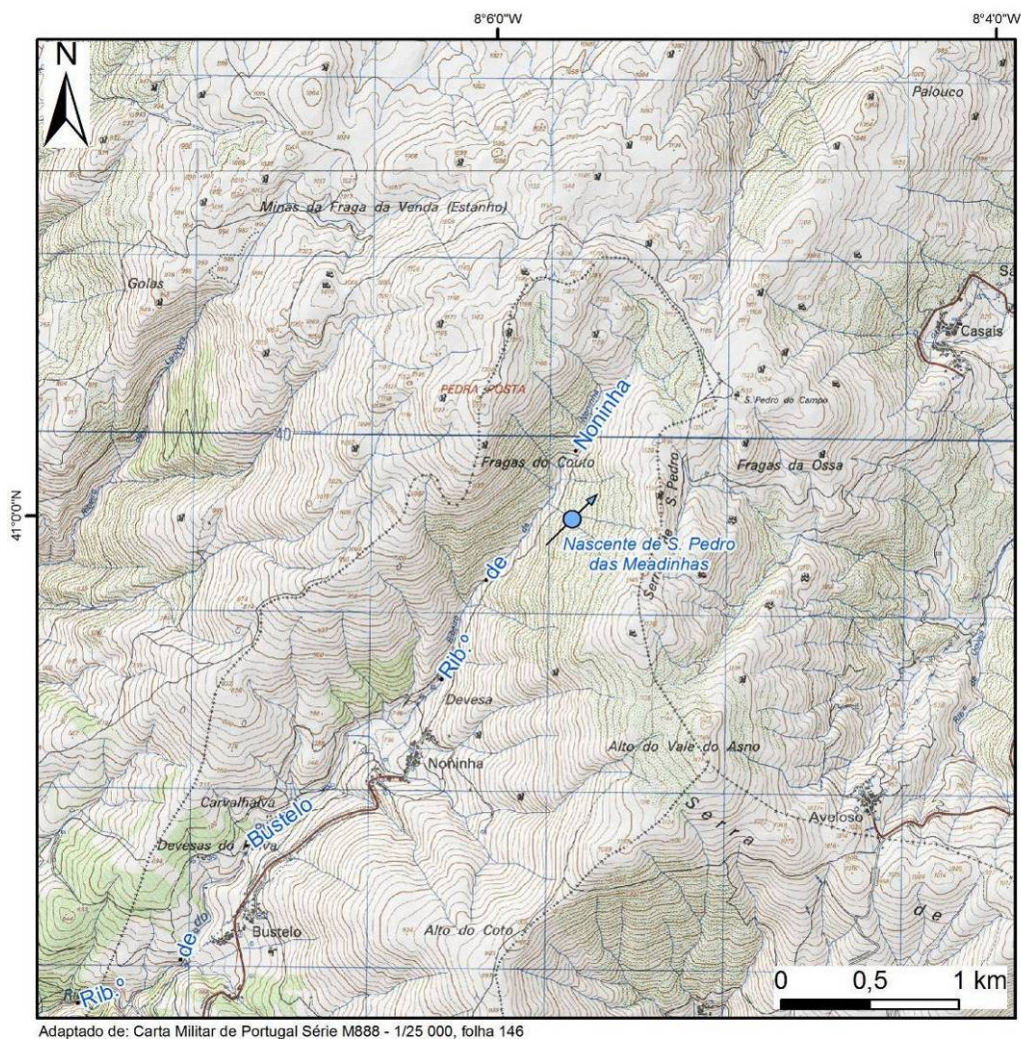


Figura 150 - Enquadramento topográfico da área envolvente à nascente de S. Pedro das Meadinhinhas.

#### 5.4.2. Enquadramento geológico

Do ponto de vista geotectónico, a Serra de Montemuro integra-se, em conjunto com o Maciço da Gralheira e a Serra do Caramulo (Girão, 1940; Ribeiro et al., 1943), nas Montanhas Ocidentais do Portugal Central, localizadas no sector Ocidental do Maciço Hespérico da Zona Centro-Ibérica (Ribeiro et al., 1979).

Na elaboração da síntese geológica recorreu-se, nomeadamente, aos seguintes documentos cartográficos:

- ✓ Cartas geológicas, geomorfológicas e tectónicas gerais a escalas várias: 1/500.000 (5ª edição da “Carta Geológica de Portugal” de Oliveira et al., 1992; ‘Carte Géomorphologique du Portugal’ de Brum Ferreira, 1981a, e “Mapa de Fracturas” de Conde, 1983); 1/1.000.000 (“Carta Tectónica de Portugal” de Ribeiro et al., 1972 e “Carta

---

Neotectónica de Portugal” de Cabral & Ribeiro, 1988; 1989); 1/50.000 (Carta Geológica de Portugal de Teixeira et al., 1968; 1969);

- ✓ Fotografia aérea do IGeoE da região (escala aproximada: 1/25.000);
- ✓ Carta topográfica (“Carta Militar de Portugal”, escala 1/25.000, Série M888- Ed. 3, folha 146 (Tendais, Cinfães), do IGeoE, 1997a);
- ✓ Outros estudos, com cartografia geral, de índole geo-científica: Girão (1940); Ribeiro et al. (1943); Martins (1997); Vieira (2001; 2003; 2008).

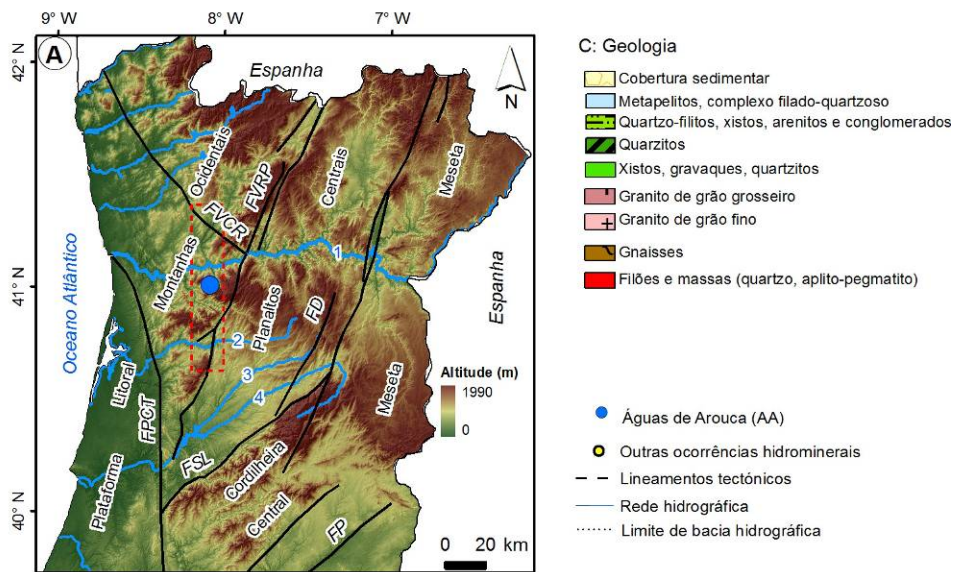
A geologia da região da Noninha e área envolvente é dominada essencialmente por rochas graníticas e por rochas metassedimentares (cf. figura 151 e figura 152). As rochas filonianas encontram-se dispersas, quer na mancha granítica quer na mancha xistenta. As rochas sedimentares (depósitos aluvionares) não têm, praticamente, representatividade à escala regional.

As rochas graníticas representam cerca de 50% da área em estudo, localizando-se essencialmente no sector NE. Contactam a SW com as rochas metassedimentares do Proterozóico superior, nomeadamente com as corneanas metapelíticas e quartzopelíticas (Teixeira et al., 1969; Oliveira et al., 1992). Com excepção de uma pequena mancha granítica, instalada no seio das referidas corneanas, as rochas graníticas constituem uma mancha contínua, que se estende desde o v.g. de Lameira (1332 m) até ao v.g. de Castro Daire (799 m).

São essencialmente granitos tardi- a pós-tectónicos (relativamente à D<sub>3</sub> regional da orogenia Varisca), com excepção da pequena mancha que aflora junto à povoação de Alvarenga, sendo esta sin-tectónica. De uma forma geral, são granitos de duas micas (com predominância biotítica), calco-alcalinios, monzoníticos, porfiríodes, passando por vezes a granodioritos (Teixeira et al., 1969; Oliveira et al., 1992).

As rochas metassedimentares ocupam também grande parte da área em estudo, localizando-se no sector SW da área em questão. Contactam, a NE, com as rochas granitóides, apresentando-se, grosso modo, em forma de banda, com direcção geral NW-SE. Assim, a partir do contacto com as rochas granitóides, surgem as corneanas pelíticas e quartzopelíticas, e em seguida os xistos mosqueados. Nas proximidades do granito, esta faixa é relativamente extensa, sendo por vezes difícil definir claramente a passagem de uma unidade a outra (Teixeira et al., 1969). Estas unidades são constituídas por xistos e grauvaques, encontrando-se por vezes afloramentos de quartzofilitos, constituídos essencialmente por sericite e quartzo, de matriz muito fina e cor acinzentada.





Principais mega-estruturas regionais:  
 FPCT – Faixa de Cisalhamento Porto-Coimbra-Tomar; FVCR – Falha Vigo-V. N. Cerveira-Régua; FVRP – Falha Verin-Régua-Penacova;  
 FBVM – Bragança-Vilarça-Manteigas; FSL – Falha Seia-Lousã;  
 FP – Falha do Ponsul; FD – Falha do Dão

1 - Rio Douro;  
 2 - Rio Vouga;  
 3 - Rio Dão;  
 4 - Rio Mondego.

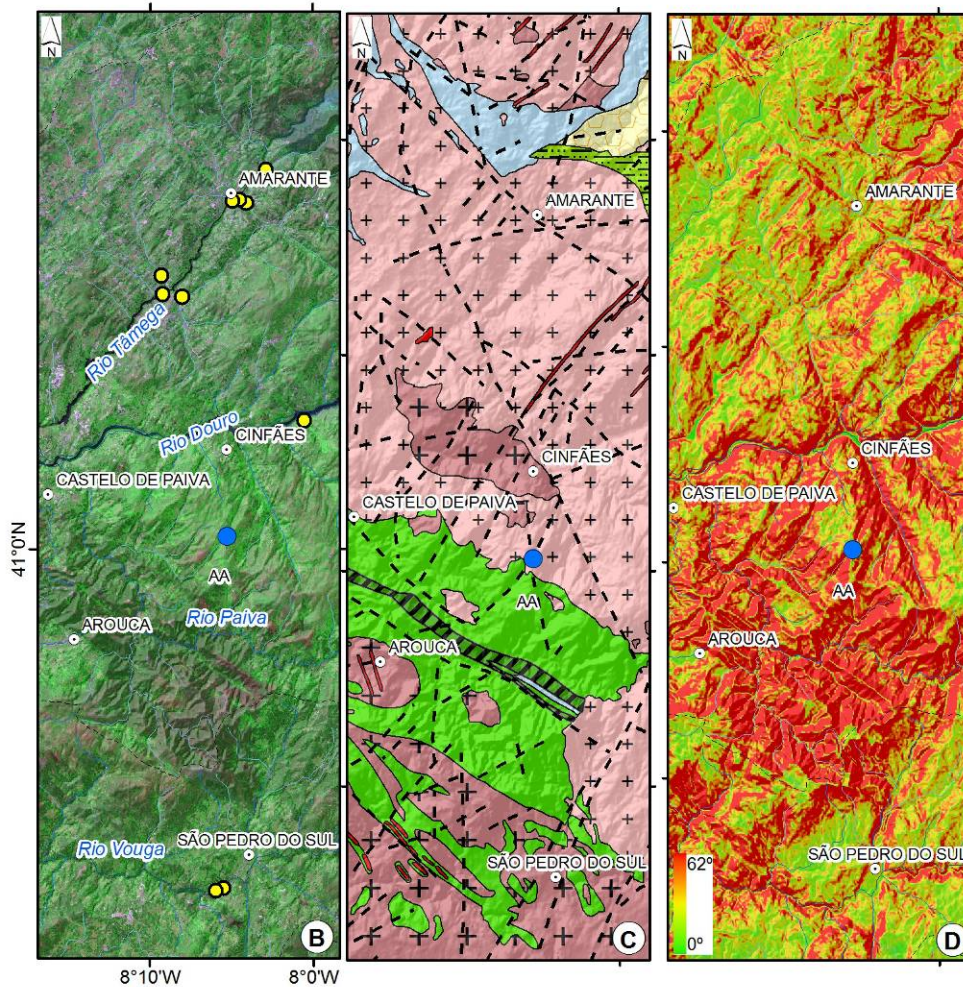


Figura 151 - Enquadramento regional da área das Águas de Arouca.

A: enquadramento morfotectónico regional; B: Imagem de satélite (adaptada de Landsat 7 ETM+ 2000/01; bandas 7-4-5= RGB) e nascentes hidrominerais (adaptadas de Carvalho 2006); C: relevo sombreado e geologia regional (adaptado de Oliveira et al. 1992); D: declives.

---

As rochas filonianas estão instaladas um pouco por toda a área, no seio das manchas graníticas e metassedimentares. Assim, é possível identificar os seguintes filões e massas (figura 152): i) filões de rocha básica, aflorantes junto à povoação de Tendais, que podem atingir os 300 m de extensão. São essencialmente rochas doleríticas ou de tendência lamprofírica (Teixeira et al., 1969); ii) filão de pórfiro granítico, aflorante a cerca de 1 km a SW da localidade de Alvarenga e instalado nos xistos do Complexo Xisto-Grauváquico, com direcção aproximada N-S; iii) filões e massas aplito-pegmatíticas, aflorantes sobretudo na mancha de xistos mosqueados, surgem geralmente com formas alongadas, próximas da direcção NW-SE. Localmente, podem apresentar megacristais de quartzo, de feldspato, de mica e de turmalina; iiiii) filões de quartzo, aflorantes quer nas rochas metassedimentares, quer nas rochas graníticas, cortam a rocha encaixante em direcções que acompanham a tendência de fracturação regional, nomeadamente com direcções próximas a NW-SE e a NNE-SSW.

Finalmente, as rochas sedimentares, nomeadamente depósitos aluvionares e cascalheiras fluviais, surgem ao longo dos cursos de água e, especialmente, onde os seus vales se alargam e o seu leito se torna mais aplanado. Correspondem, normalmente, a depósitos de materiais argilo-arenosos, nos quais se podem encontrar, por vezes, calhaus rolados. Apresentam reduzida expressão cartográfica surgindo apenas no vale do rio Ardena, junto a Nespereira.

A estruturação do maciço apresenta-se, à escala regional, dominada por dois conjuntos de falhas e fracturas (figura 152), que, por constituírem linhas de fragilidade do maciço rochoso, a rede hidrográfica aproveita claramente para a respectiva instalação, escavando vales encaixados, por vezes muito profundos. O primeiro sistema, com direcção aproximada NNE-SSW surge bem representado em toda a área, sendo bons exemplos os vales da Ribeira de Bustelo e da Noninha. O seu sistema conjugado apresenta ligeiras variações, que vão desde NW-SE, especialmente no maciço granítico, passando gradualmente a WNW-ESE nas rochas metassedimentares. É segundo esta direcção aproximada que se faz o contacto entre as referidas unidades graníticas e as metassedimentares. Finalmente, merece referência um sistema de falhas e fracturas discreto, com direcção aproximada E-W, o qual surge, quase exclusivamente, nas rochas graníticas.

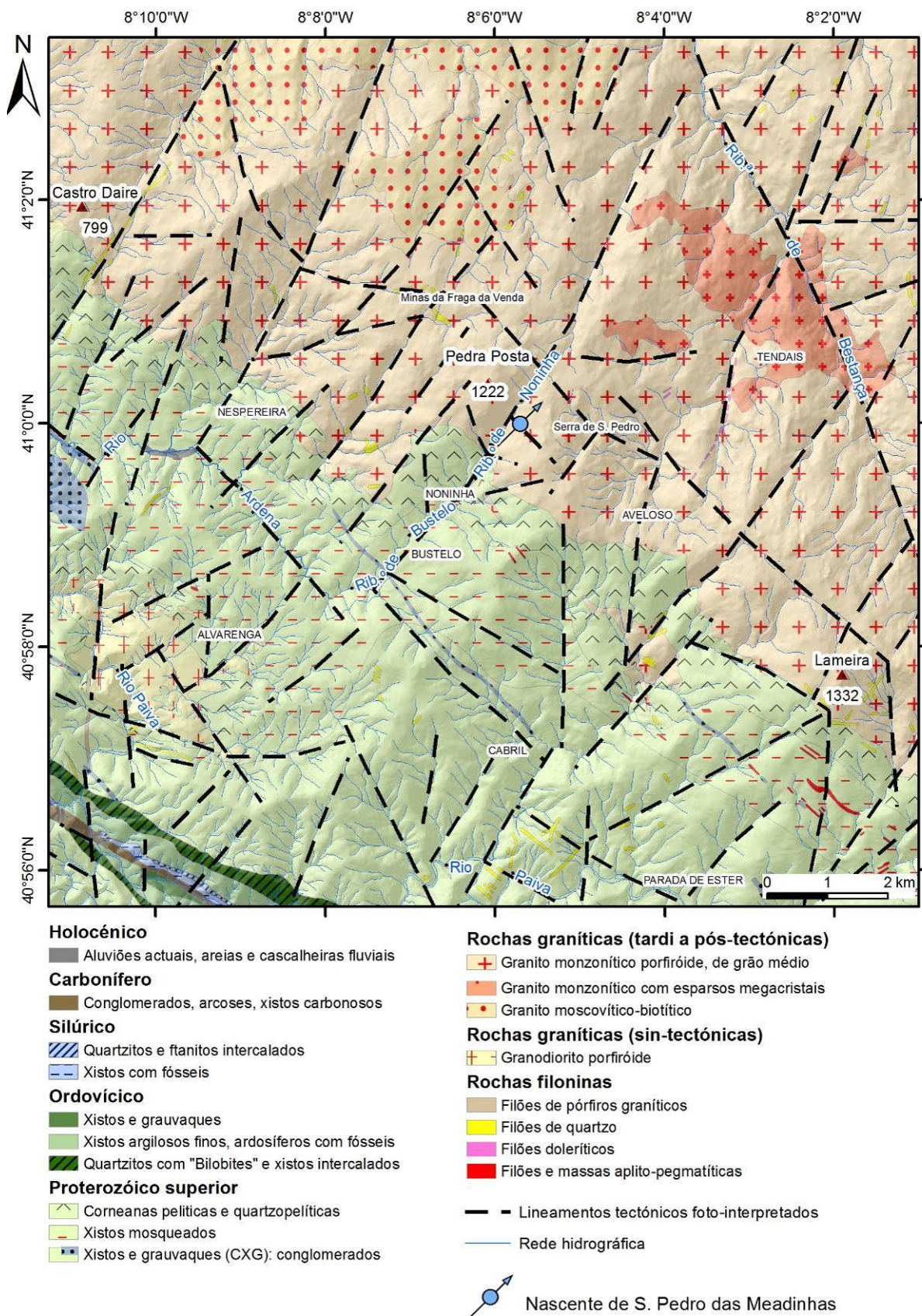


Figura 152 - Enquadramento geológico regional da área da Noninha (revisto de Teixeira et al., 1969; Oliveira et al., 1992).

Ao nível local, na área de estudo, predominam claramente as rochas graníticas, nomeadamente o granito monzonítico porfíróide de grão médio (figura 153). O afloramento desta fácies granítica constitui uma extensa mancha (que se estende muito para além do mapa apresentado na figura 153; cf. com a figura 152), constituindo a ossatura do maciço montanhoso de Montemuro, sendo, por isso, designado por Teixeira et al. (1969) como “Granito de Montemuro”. A Serra de S. Pedro, o v.g. da Pedra Posta (1222 m) e a parte inicial da Ribeira da Noninha estão talhadas nesta mancha granítica.

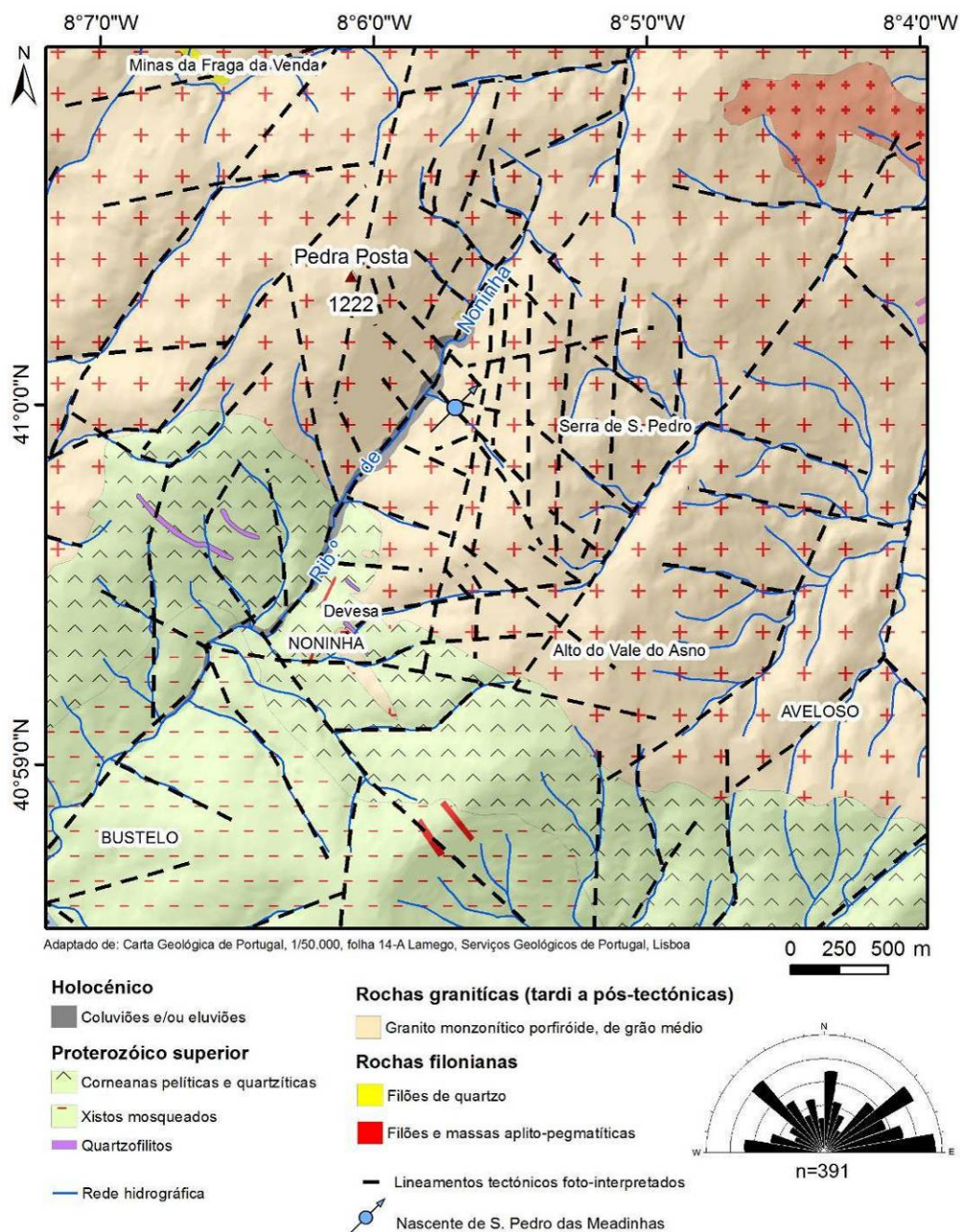


Figura 153 – Esboço geológico local da área da Noninha, com diagrama de rosetas dos lineamentos tectónicos fotointerpretados.

---

Este é um granito de grão médio, por vezes grosseiro devido a variações locais. Pode ser considerado um granito de duas micas, predominantemente biotítico, leucomesocrático e, normalmente, de tendência porfiróide. Em geral, esta mancha granítica apresenta uma profusão importante de estruturas filonianas (quártzicas, pegmatíticas, aplito-pegmatíticas e micrograníticas), visíveis localmente em taludes da estrada que liga a Noninha ao topo da Serra de S. Pedro. No entanto, a ausência de representatividade cartográfica destas estruturas, tornam extremamente difícil a sua cartografia sistemática. No entanto, as estruturas mais importantes detectadas resultaram numa actualização da cartografia existente. Os trabalhos de campo desenvolvidos levaram também a uma redefinição e reajuste do desenho cartográfico do contacto das rochas graníticas com as rochas metassedimentares, a Norte da povoação da Noninha.

Nos taludes é possível observar o perfil de alteração típico do granito em regiões temperadas e das formações que o recobrem (figura 154), e se apresentam de forma esquemática na figura 155. Assim, junto à superfície, surge uma camada de solo orgânico, de cor negra e com espessura de 15 a 50 cm. Imediatamente abaixo deste surge um depósito areno-argiloso castanho-amarelado a esbranquiçado, com blocos, em regra angulosos a sub-angulosos, centimétricos a decamétricos e, por vezes hectométricos, de granitóides, de quartzo e de pegmatitos, com espessura média a variar entre 50 cm e 1 m. Seguidamente, surge um espesso horizonte de alterito granítico ( $W_{4-5}$ ) da unidade geológica local, com espessura estimada por observação visual nos diversos taludes, de cerca de 7-10 m (figura 154). No entanto, estima-se que este horizonte possa ser bastante mais profundo, podendo atingir, pelo menos, duas dezenas de metros. As sondagens de captação de água revelaram uma espessura deste horizonte alterado de cerca de 12-15 m, junto da antiga nascente de S. Pedro das Meadinhas.

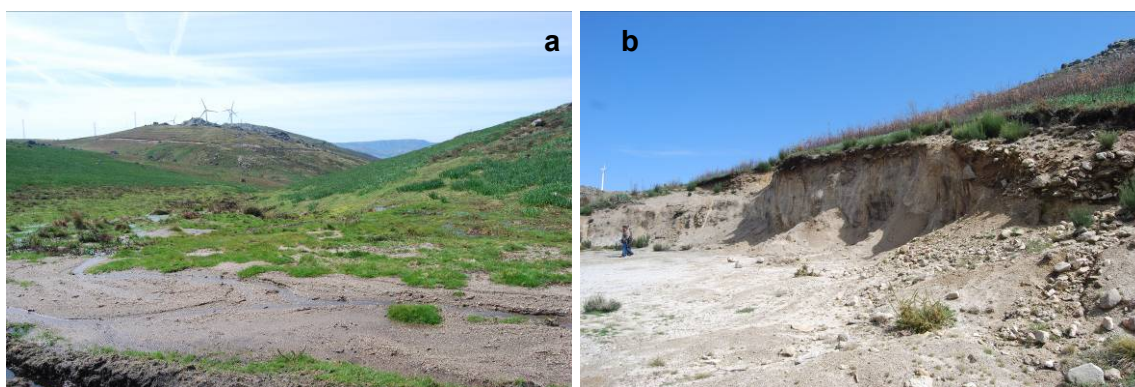


Figura 154 – Aspecto da alteração superficial visível pelo rególito granítico na área da nascente da Ribeira da Noninha (a) e perfil típico da alteração do granito (b).

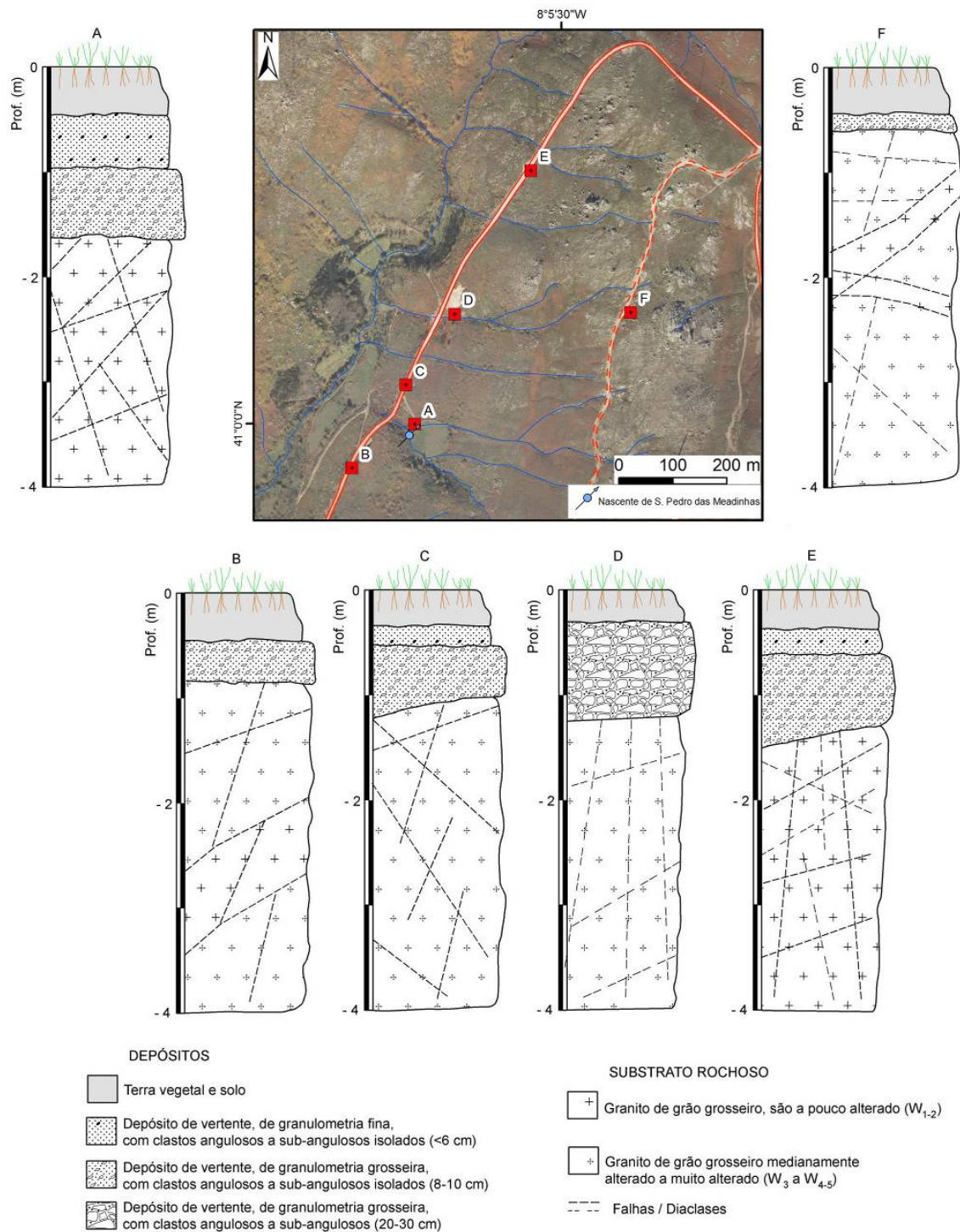


Figura 155 - Perfis típicos da alteração do granito e dos depósitos de cobertura na área envolvente à nascente de S. Pedro das Meadinhos (Noninha).

---

Na área mais a SW surgem rochas metassedimentares (figura 153), nomeadamente corneanas quartzosas e metapelíticas, com finas intercalações de xistos e quartzofilitos. Estes últimos são constituídos essencialmente por sericite e quartzo, e apresentam matriz muito fina e cor acinzentada. Constituem uma mancha alongada, com direcção geral WNW-ESE, em ambas as margens da Ribeira da Noninha. A unidade dos xistos mosqueados surge apenas na área a W da povoação da Noninha, numa mancha de reduzidas dimensões. Ambas as manchas são cortadas por estruturas filonianas, nomeadamente de quartzo e aplito-pegmatito, muitas vezes sem expressão cartográfica. No entanto, são de registar dois filões aplito-pegmatíticos, com cerca de 100 m de comprimento, bem como os filões de quartzo registados junto a Fragas do Couto. Estes últimos apresentam espessura reduzida (ca. 1 m), e uma extensão aproximada de 15 a 20 m.

Ao longo dos cursos de água, e especialmente onde os seus vales se alargam e o seu leito se torna mais aplanado, depositam-se sedimentos transportados por estes. Trata-se normalmente de depósitos de materiais argilo-arenosos, onde por vezes se podem encontrar calhaus rolados. Apresentam reduzida expressão cartográfica à escala apresentada, surgindo apenas no vale da Ribeira da Noninha, em terrenos que em tempos foram usados como solos agrícolas.

Na figura 156 apresentam-se alguns dos aspectos geológicos da área envolvente à nascente de S. Pedro das Meadinhos.



Figura 156 – Aspectos geológicos da área da Nascente de S. Pedro das Meadinhás.

a) aspecto de contacto geológico metassedimentos – granito marcado pela vegetação de cor esverdeada; b) aspecto de megadobra, nas rochas metassedimentares a NNE da povoação da Noninha; c) aspecto de afloramento granítico e do manto de alteração / solo residual a NNE da Nascente de S. Pedro das Meadinhás; d) aspecto de filão de quartzo-falha, no topo da Serra de S. Pedro; e) aspecto da rocha granítica e do manto de alteração granítico, durante a fase de construção do furo FH1.



---

### 5.4.3. Enquadramento geomorfológico

A Serra de Montemuro, nas palavras de Girão, em 1940 seria “...uma zona de relêvo com a altitude máxima de 1382 m de forma grosseiramente triangular, compreendida entre o Douro, o seu afluente Paiva e uma linha quasi recta tirada de Castro Daire por Lamego em direcção à Régua...” (pp. 13). Assim, a Serra de Montemuro localiza-se no sector Ocidental do Norte da Beira, na zona de transição litoral-interior, constituindo a forma de relevo mais elevada a Sul do Douro, se exceptuarmos os relevos da Cordilheira Central, nomeadamente a Serra da Estrela (Brum Ferreira, 1978). A Serra de Montemuro é limitada a Norte pelo Rio Douro, que marca a fronteira com as Serras da Aboboreira e do Marão, e a Sul e Sudoeste pelo Rio Paiva, que a separa do Maciço da Gralheira (Girão, 1940; Ribeiro et al., 1943; Vieira, 2001, 2003, 2008). A Oriente, os limites apresentam-se mais difusos correspondendo, grosso modo, ao limite estrutural, tardi-Varisco, Falha de Verín–Régua–Penacova (Brum Ferreira, 1978). A Serra de Montemuro encontra-se talhada essencialmente em rochas granitóides, constituindo um relevo vigoroso e com vertentes abruptas, atingindo no ponto mais alto 1381 m de altitude. Nas proximidades da localidade da Noninha situa-se o ponto mais alto do Concelho de Arouca, nomeadamente no v.g. da Pedra Posta (1222 m). Os principais cursos de água do Concelho de Arouca são os rios Arda, Paiva, Paivó, Caima, Urtigosa, Ardena, Inha, Ínsua e as ribeiras de Moldes, de Rio de Frades e da Aguieira.

O rio Paiva é o mais imponente e, de todos, o mais caudaloso. É um típico rio de montanha, cujas águas correm, quase sempre, no fundo de desfiladeiros de vertentes abruptas. A ribeira da Noninha, nascendo na área da Serra de S. Pedro, e após a sua junção com a Ribeira de Bustelo e com outros cursos de água de menor importância, dá origem ao Rio Ardena, um dos afluentes da margem direita do Rio Paiva. Este, por sua vez, faz parte da grande bacia hidrográfica pertencente ao Rio Douro (figura 157).

A Serra de Montemuro pode considerar-se, do ponto de vista morfológico geral, como um imponente maciço com vertentes abruptas, constituindo um relevo vigoroso, com forma grosseiramente triangular e claramente dissimétrica (Girão, 1940; Vieira, 2001, 2003, 2008). A Serra de Montemuro apresenta, em termos gerais, uma configuração na direcção Norte-Sul, sugerindo um basculamento da Serra para o Rio Douro. A vertente Sul é muito inclinada, por vezes sem nenhum patamar intermédio entre o cimo da serra e o vale do Rio Paiva (Brum Ferreira, 1978), representando uma descida de cerca de 1000 m e um declive médio de 18%. A vertente Norte apresenta um declive nitidamente mais suave, na ordem dos 6 a 7%.

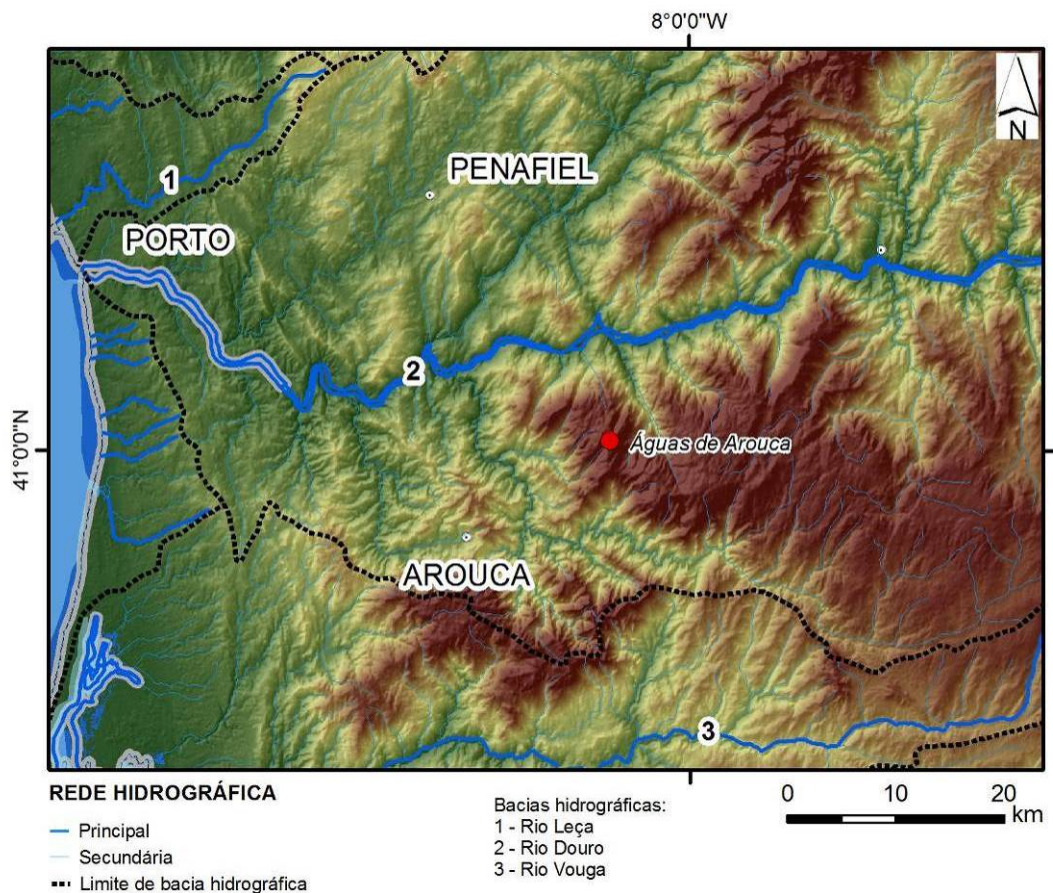


Figura 157 - Principais bacias hidrográficas na área da Noninha (adaptado de I. Ambiente, 1991/92).

Os vales são encaixados e com declives acentuados, com principal destaque para o Rio Paiva, as Ribeiras de Bestança, de Tenente, da Carvalhosa e da Noninha. O granito é cortado por uma rede apertada de diaclases e coberto por um manto de alteração *in situ*. A alteração penetra profundamente na rocha e, aparentemente, não condiciona as formas da superfície; os vales são abertos e as vertentes esbatidas, mas mantêm-se ao mesmo tempo vigorosas as formas de todos os desníveis. As escarpas de falha e as vertentes íngremes, produzidas pelo encaixe dos cursos de água, retrocedem sem se degradarem (Ribeiro et al., 1987).

Na área em questão, predominam os vales fortemente encaixados, em geral com direcção NNE-SSW. Com estas características destacam-se, pela sua imponência, as ribeiras da Noninha e do Bustelo. O sistema conjugado deste, de direcção aproximada NW-SE está também aproveitado por alguns dos cursos de água mais importantes da área: o Rio Ardena, afluente do Rio Paiva e a Ribeira de Bestança, a NE da área apresentada (cf. Figura 152). As áreas aplanadas são, em geral, de pequena extensão e de recorte irregular. A diferenciação litológica gerada pelo contraste granito e metassedimentos afecta de forma

---

ligeira a distribuição e a forma das áreas aplanadas, que predominam sobretudo na mancha granítica (figura 159).

Na região em questão destaca-se uma grande área aplanada, situada a altitudes entre os 1100 e os 1200 m, que se estende desde o Alto do Vale do Asno (1190 m) até ao v.g. da Pedra Posta (1223 m), constituindo a ossatura da Serra de S. Pedro. Esta unidade morfológica apresenta dois níveis aplanados, situados a altitudes diferentes (1100 m na Serra de S. Pedro, 1150 a 1200 m junto ao v.g. da Pedra Posta). A continuidade da superfície e o seu desnível são geradas, muito provavelmente, pela movimentação de uma importante falha regional com direcção aproximada NNE-SSW, que se estende desde o Ribeiro de Bustelo, passando pela Ribeira da Noninha, e que se prolonga para NE, terminando na Ribeira de Bestança, esta com orientação geral NW-SE.

Esta extensa área aplanada é, por vezes, interrompida por relevos residuais, que por vezes constituem formas geomorfológicas típicas do modelado granítico, tais como *thors*, *castle koppies* e *domos rochosos* (Vieira, 2001, 2008; figura 158).



Figura 158 – Aspectos da área aplanada e formas residuais no topo da Serra de S. Pedro, vista de Sul.

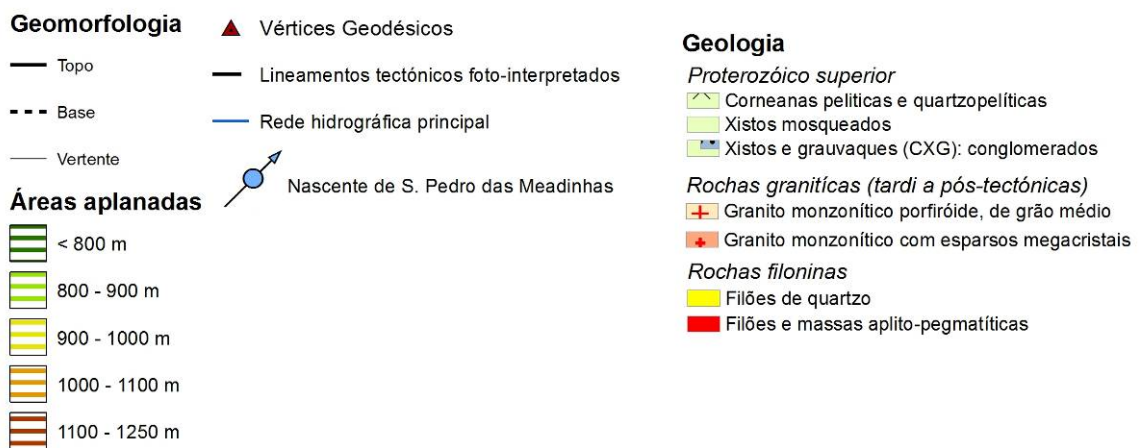
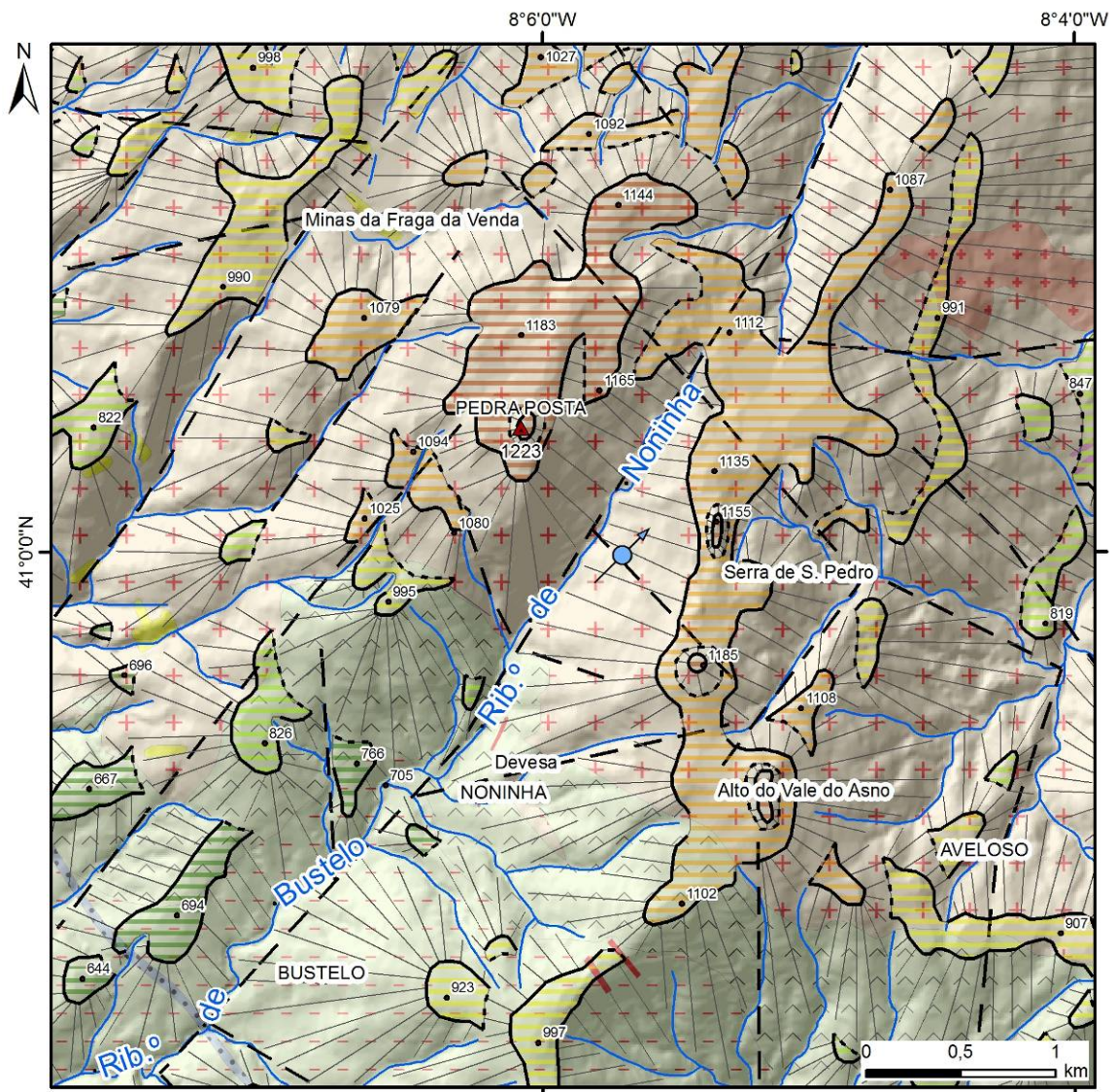


Figura 159 – Esboço geomorfológico regional da área da Noninha, Serra de S. Pedro.

---

Além desta superfície, toda a área está coberta por uma série de pequenas áreas aplanadas, e, como notou Brum Ferreira, 1978) *“de uma maneira geral, em toda a montanha, abaixo dos 1000 metros, as rechãs tornam-se tão exíguas e a altitudes tão diversas, que qualquer tentativa de interpretação do seu escalonamento parece demasiado discutível.”*

No entanto, à escala local de investigação, e no mapa geomorfológico aqui apresentado (figura 159), foi possível identificar uma série de áreas aplanadas, ainda que de reduzida extensão. Assim verificou-se que, na maioria dos casos, as áreas aplanadas com altitudes superiores a 900 m se situam na rocha granítica, enquanto que as áreas aplanadas de altitudes entre 800 e 900 m, bem como as inferiores a 800 m, predominam nas rochas metassedimentares, apresentando uma dimensão mais reduzida que nas áreas graníticas.

No que respeita aos declives, a área em estudo apresenta um contraste claro entre áreas com declives baixos a moderados e áreas com declives muito fortes. Os declives baixos a moderados (<10°) encontram-se, principalmente, na área entre o Alto do Vale do Asno e toda a Serra de S. Pedro e na área do v.g. da Pedra Posta. Por outro lado, o já referido vale da Ribeira da Noninha apresenta os declives mais elevados da área (figura 160), apresentando mesmo áreas escarpadas com declives que podem atingir os 60°, na margem direita da Ribeira da Noninha, a Sul do v.g. da Pedra Posta. As vertentes da margem direita da Ribeira da Noninha apresentam, em geral, maior extensão, aliada aos referidos declives elevados. As altitudes do bloco da margem esquerda são, em geral, mais baixas que o da margem direita, o que poderá sugerir uma movimentação descendente do primeiro, relacionado com a estrutura regional correspondente à falha materializada pelo alinhamento do vale da Ribeira da Noninha.

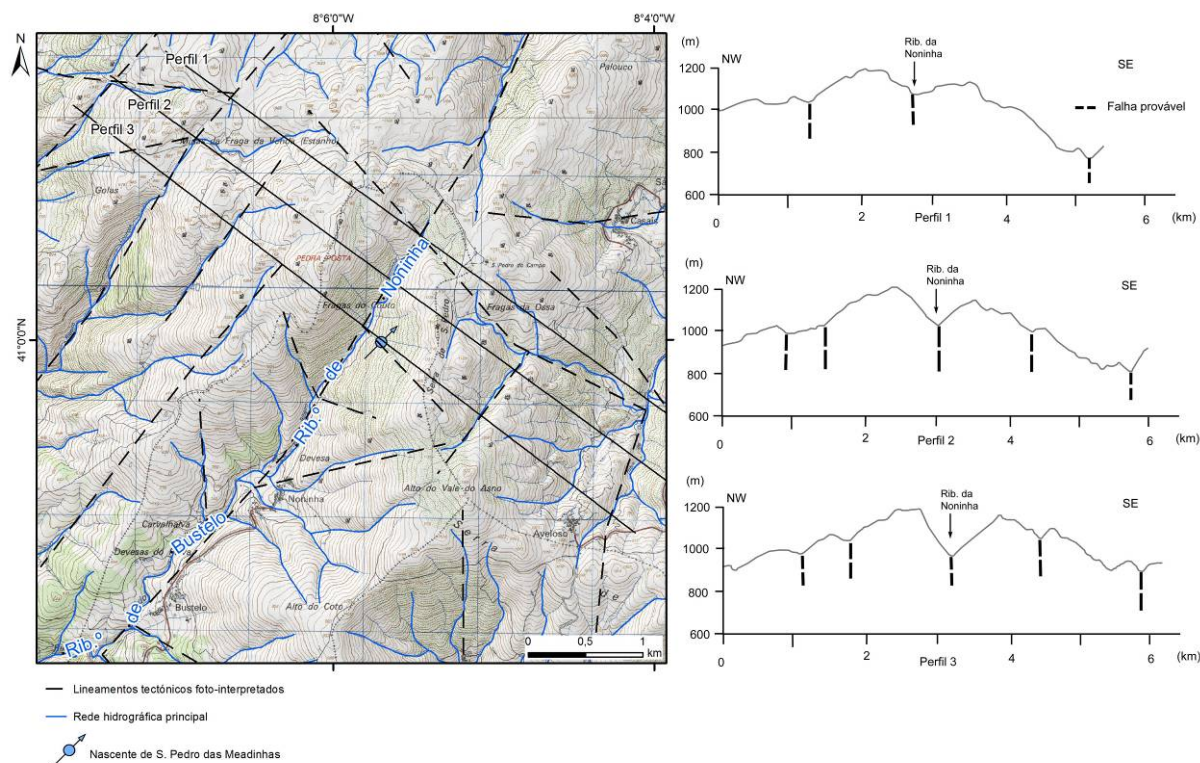


Figura 160 - Perfis topográficos sequenciais da área da Serra de S. Pedro. (sobre-elevação vertical: 3 vezes a escala horizontal)

#### 5.4.4. Hidroclimatologia

##### 5.4.4.1. Análise climática e balanço hídrico

Como já foi referido anteriormente, no Capítulo 4, Portugal Continental apresenta características climáticas próprias, distinguindo-se claramente das restantes regiões europeias. A peculiaridade do seu clima prende-se, basicamente, com a posição marginal do continente português relativamente ao Oceano Atlântico, numa latitude subtropical (Ribeiro et al., 1987; 1988). A precipitação, no Norte de Portugal, começa por aumentar do litoral para o interior, devido à existência de barreiras orográficas, diminuindo, por sua vez, à medida que se penetra na periferia da região central da Península Ibérica. Ribeiro et al. (1987; 1988) dividem Portugal Continental em províncias climáticas, enquadrando-se a região da Noninha na Província Montanhosa do Norte de Portugal. Esta província caracteriza-se por um Verão quente, e um Inverno frio e nevoso. As precipitações são elevadas, sobretudo nos topos das montanhas, e os nevoeiros são frequentes, excepto no Verão.

Para a caracterização climática local, recorreu-se aos dados das normais climatológicas da estação de Bigorne, para o período 1951-1980 (INMG, 1990). Esta estação apresenta os

seguintes valores: a temperatura média anual do ar é de 9,9°C, com um valor mínimo no mês de Janeiro (3,4°C) e um valor máximo no mês de Julho (17,5°C). A precipitação total anual corresponde a 1575mm, com o valor máximo a registar-se em Fevereiro (233,7 mm) e o valor mínimo em Julho (14,6 mm). De salientar ainda que cerca de 76% da precipitação está concentrada no semestre húmido (Outubro a Março). Consta-se, através do diagrama termopluiométrico (figura 161), que o período seco na região corresponde aos meses de Julho e Agosto.

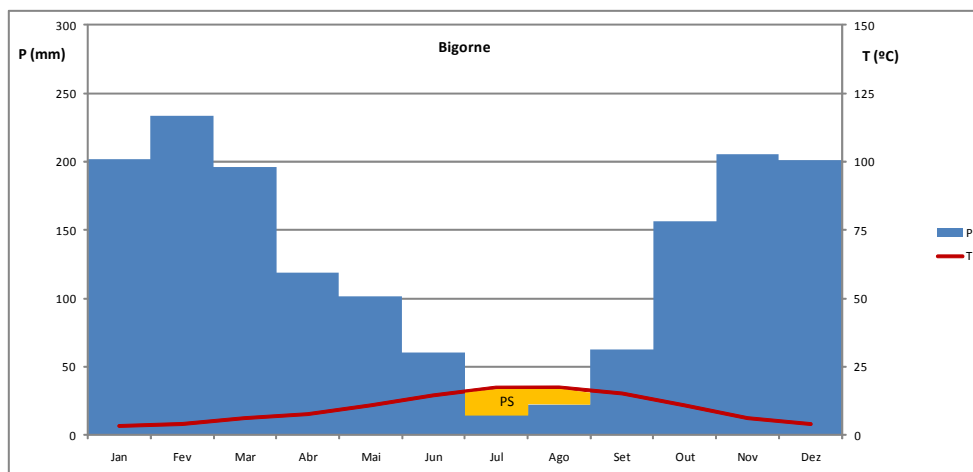


Figura 161 – Diagrama termopluiométrico para da estação de Bigorne (INMG, 1990).  
P – Precipitação (mm); T – Temperatura (°C); PS – Período Seco

Relativamente ao balanço hidrológico sequencial mensal realizado através do método de Thornthwaite & Mather, 1955, recorreu-se aos dados das normais climatológicas da estação de Bigorne, para o período 1951-1980 (INMG, 1990). A evapotranspiração potencial (ETP) foi calculada com base na fórmula de Thornthwaite (1948).

Na figura 162 e quadro 30 apresenta-se o balanço hidrológico calculado, para o qual se considerou uma capacidade utilizável de 150 mm. Assim, foram calculados os seguintes valores: evapotranspiração real (ETR) de 524,5 mm, o défice hídrico é de 102,5 mm e o valor dos excedentes hídricos é de 1050,8 mm.

Os valores indicativos, apontados pelo Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro (INAG, 2001), para a sub-bacia do rio Paiva correspondem a valores médios de precipitação na ordem dos 1630 mm/ano. São apontados ainda 1083 mm/ano de excedentes e 462 mm/ano de *deficit* hídrico. A evapotranspiração potencial situa-se na ordem dos 1089 mm/ano, e a evapotranspiração real apresenta valores de 546,8 mm/ano.

Os valores verificados na estação de Bigorne são assim próximos destes valores indicativos, excepto no que diz respeito ao défice hídrico, que se apresentam aqui bastante mais baixos, devido à elevada precipitação registada no topo da serra e à sua distribuição mensal.

Quadro 30 - Termos do balanço hidrológico sequencial mensal relativos à estação climatológica de Bigorne (capacidade de água utilizável de 150mm).

Meses	T	P	ETP		P-ETP	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	°C	mm	Thornthwaite, 1948	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	3,4	201,9	11,0	190,9	150,0	0,0	11,0	0,0	190,9	
Fev	4,1	233,7	14,0	219,7	150,0	0,0	14,0	0,0	219,7	
Mar	6,1	196,3	29,0	167,3	150,0	0,0	29,0	0,0	167,3	
Abr	7,8	119,1	41,0	78,1	150,0	0,0	41,0	0,0	78,1	
Mai	11,0	101,4	67,0	34,4	150,0	0,0	67,0	0,0	34,4	
Jun	14,6	60,2	90,0	-29,8	123,0	-27,0	87,2	2,8	0,0	
Jul	17,5	14,6	110,0	-95,4	65,1	-57,9	72,5	37,5	0,0	
Ago	17,4	22,4	102,0	-79,6	38,3	-26,8	49,2	52,8	0,0	
Set	15,1	62,6	75,0	-12,4	35,3	-3,0	65,6	9,4	0,0	
Out	11,0	156,3	51,0	105,3	140,6	105,3	51,0	0,0	0,0	
Nov	6,3	205,6	23,0	182,6	150,0	9,4	23,0	0,0	173,2	
Dez	4,1	201,2	14,0	187,2	150,0	0,0	14,0	0,0	187,2	
<b>Total</b>		1575,3	627,0	948,3	1452,2		524,5	102,5	1050,8	
<b>Média</b>	9,9		52,3	79,0	121,0		43,7	8,5	87,6	

T - Temperatura; P - Precipitação; ETP - Evapotranspiração Potencial; ARM - Armazenamento; ALT - Alteração; DEF - Déficit; EXC - Excedentes

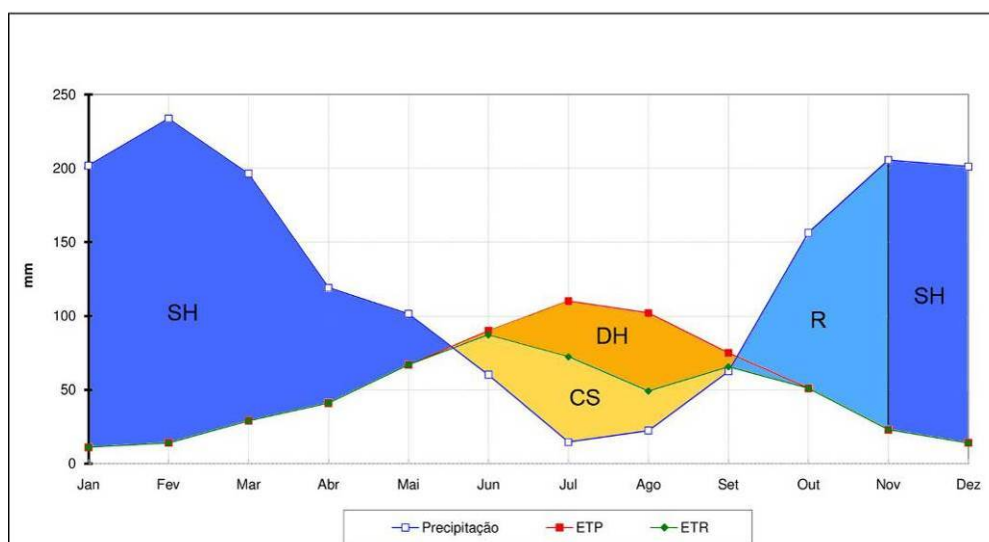


Figura 162 – Balanço hidrológico sequencial mensal relativo à estação climatológica de Bigorne (SH – Excedentes hídricos; DH – Déficit hídrico; CS - cedência de água pelo solo; R – Reposição de água no solo).

#### 5.4.4.2. Recarga e escoamento subterrâneo

Para a análise da recarga e do escoamento, foram usados os dados da estação hidrométrica de Fragas da Torre (INAG, 2009), os quais se reportam ao período de Outubro de 1945 a Setembro de 2006. Esta estação regista os valores de escoamento de uma extensa área da bacia hidrográfica do rio Paiva, correspondendo a uma área drenada de 646,7 km<sup>2</sup> (81,3% da área total da bacia). Da análise da Figura 163 ressalta que os caudais mais volumosos ocorrem no mês de Janeiro (119.384 dam<sup>3</sup>), em oposição ao mês de Agosto (4.112 dam<sup>3</sup>).

Através da aplicação de métodos de análise de hidrogramas, e nomeadamente através do método de Castany & Berkaloff, 1970, procurou-se calcular a taxa de infiltração, usando para tal a já analisada estação climatológica de Bigorne e a estação hidrométrica de Fragas



da Torre. Pela análise do hidrograma, e através da aplicação do método de Castany & Berkloff, 1970 considerou-se que o *escoamento de base* corresponderá à média dos meses de Julho, Agosto e Setembro (Figura 163). Assim, para estes três meses e considerando a área da bacia drenada, o escoamento médio mensal será de 6.178,6 dam<sup>3</sup>, que correspondem a 115 mm/ano. Assim, a taxa de infiltração corresponderá a 7,3% da precipitação total anual registada na estação de Bigorne (1575 mm).

Considerando o mesmo valor médio de escoamento de base de Julho, Agosto e Setembro, calculou-se um valor de escoamento subterrâneo anual de 74.143,1 dam<sup>3</sup>, que corresponde a 11,3% do escoamento total anual (656.974,3 dam<sup>3</sup>). Por comparação do valor anual dos excedentes calculados no balanço hidrológico (1050 mm) com a percentagem do escoamento subterrâneo, obtém-se um valor de infiltração na ordem dos 118 mm/ano, a que corresponde uma taxa de infiltração de 7,5%.

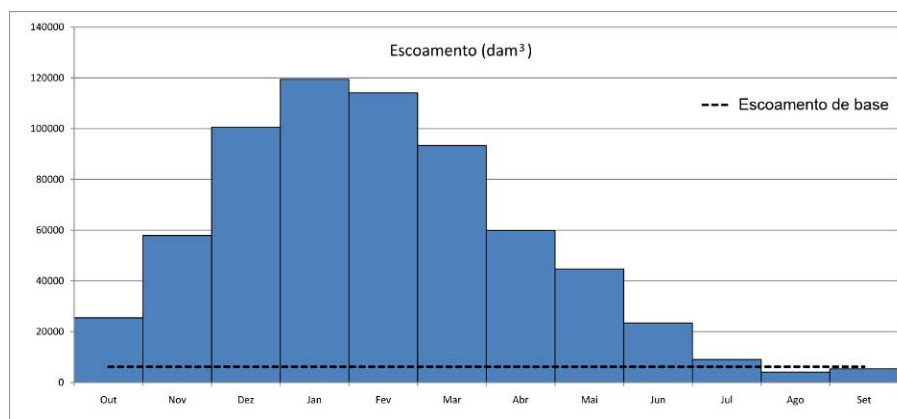


Figura 163 – Hidrograma relativo à estação hidrométrica de Fragas da Torre (1946-2006).

Este resultado é, em geral, inferior ao proposto por outros autores, tal como se viu no Capítulo 4 (e.g., Pereira, 1999; Alencão et al., 2000; Lima & Silva, 2000; Lima, 2001; Carvalho, 2006). Ao valor de 7,5% de taxa de infiltração (118 mm) corresponderiam recursos de 0,295 hm<sup>3</sup>/ano, podendo assim afirmar-se que as quantidades de água disponíveis para a recarga são apreciáveis. Contudo, as condições hidrogeológicas, a sazonalidade das precipitações e a pequena capacidade de ingestão das formações geológicas ocorrentes condicionam negativamente a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos. Devem ainda ser acrescentados dois factores que condicionam positivamente as condições de recarga e a sua distribuição no tempo: a queda de neve e os nevoeiros frequentes os quais permitem que, mesmo nos meses mais secos, as disponibilidades hídricas subterrâneas sejam consideráveis. Apesar da natural diminuição dos caudais nestes meses, não se registaram, nas campanhas de campo, nascentes secas na área da Serra de S. Pedro.

#### 5.4.5. Caracterização do maciço rochoso

O reconhecimento da geologia de campo e da cartografia geológico-estrutural de pormenor efectuado na área em estudo permitiu, à semelhança do pólo das Caldas da Cavaca anteriormente apresentado, caracterizar em afloramento, a heterogeneidade litológica, o grau de alteração e o grau de fracturação local do maciço. Procedeu-se igualmente à execução de um estudo geológico aplicado, a diferentes escalas, de modo a entrosar-se toda a informação disponível e recolhida durante os trabalhos de campo, de acordo com os critérios referidos anteriormente. Nesta fase aproveitou-se, igualmente, para se proceder a observações morfotectónicas e geomorfológicas de terreno.

A figura 164 apresenta a localização dos sete painéis do talude da estrada Noninha – Serra de S. Pedro, onde foi possível a aplicação da técnica da amostragem linear (estações geológico-geotécnicas e geomecânicas), tendo em vista a caracterização mais detalhada do maciço rochoso da área (cf. anexo 5).

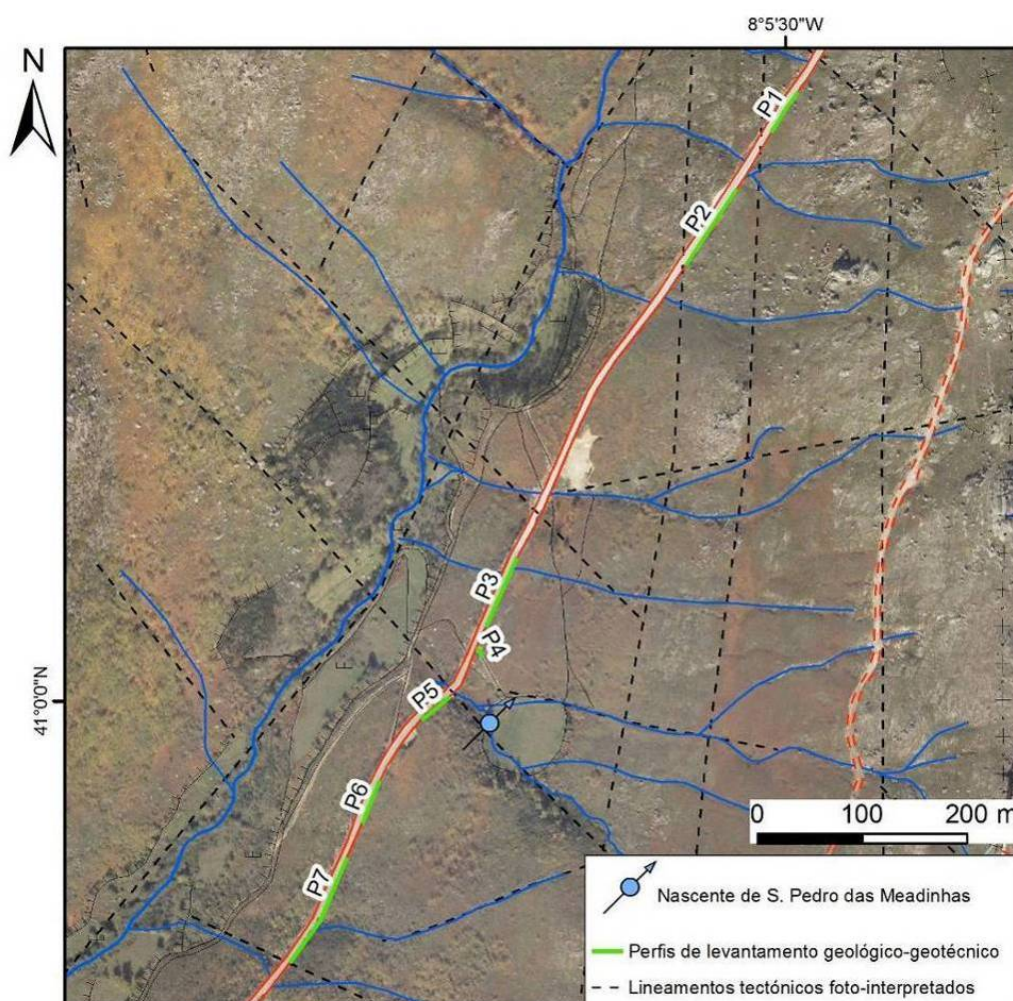


Figura 164 – Localização dos sete painéis levantados no talude da estrada Noninha – Serra de S. Pedro.

O primeiro painel — *Painel 1* — tem um comprimento total de 48 m, tendo sido registadas 37 descontinuidades, das quais 89,4% correspondem a diaclases e 10,6% a falhas (figura 165), apresentando-se o maciço, na sua totalidade, medianamente alterado -  $W_3$ .

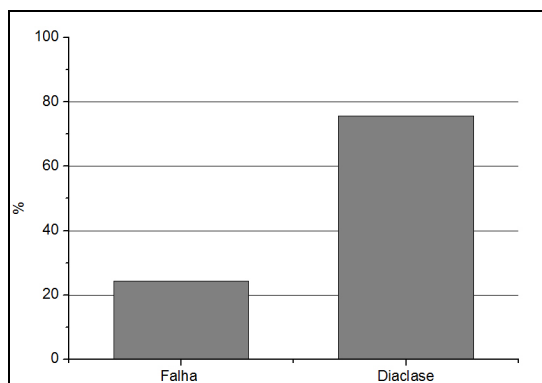


Figura 165 - Tipos de descontinuidade registadas no *Painel 1*.

As descontinuidades medidas neste painel apresentam-se, maioritariamente muito afastadas a medianamente afastadas,  $F_{1-2}$  a  $F_3$ , e em muito menor percentagem muito próximas -  $F_{4-5}$ , com os valores médios de 137,5 cm, 44,3 cm e 13,3 cm, respectivamente. O espaçamento médio registado no *Painel 1*, para a totalidade das descontinuidades medidas, foi de 103,3 cm. Relativamente à abertura (figura 166), as descontinuidades apresentam-se, maioritariamente com aberturas inferiores a 0,5 mm, designando-se como fechadas (87%, com abertura média de 0,07 mm). As descontinuidades abertas representam cerca de 10% do total, e as muito abertas apenas 3%.

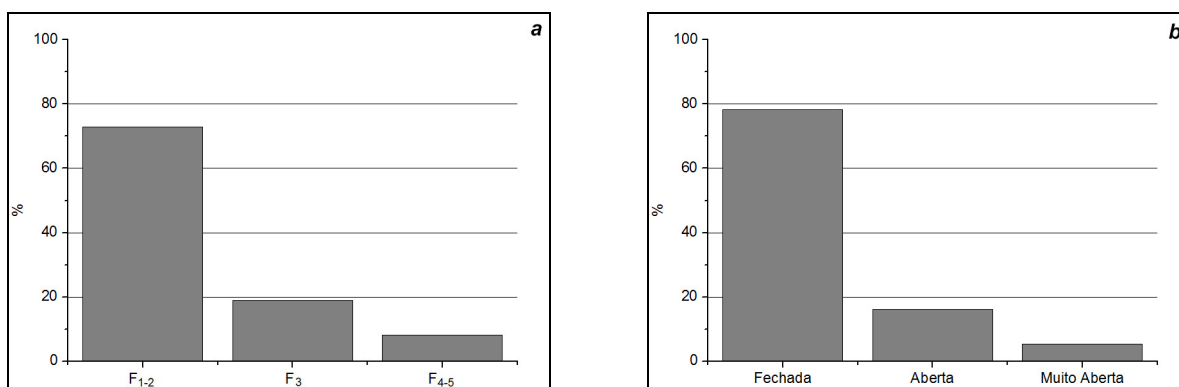


Figura 166 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do *Painel 1*.

Relativamente à continuidade, é de referir que neste local a esmagadora maioria das descontinuidades se apresentam pouco contínuas a muito pouco contínuas (figura 167), com valores médios de semi-comprimento exposto de 4,6 m e 1,7 m, respectivamente.

A terminação das descontinuidades distribui-se pelo tipo obscuro (73%) e em menor número, noutra descontinuidade (27%).

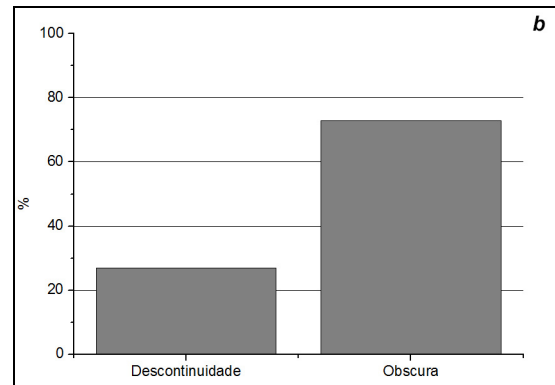
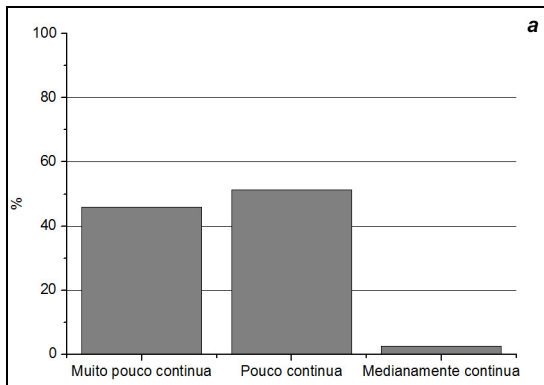


Figura 167 - Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades do *Painel 1*.

A curvatura das descontinuidades medidas neste talude (Figura 168) é maioritariamente plana a ligeiramente curva,  $C_{1-2}$  (94,6%), e não foram registadas neste talude descontinuidades muito rugosas, predominando aqui as descontinuidades do tipo lisa a ligeiramente rugosa,  $R_{1-2}$  (97,3%). A maioria das descontinuidades não apresenta qualquer enchimento (73%). Quando este está presente é constituído, em geral, por rocha esmagada (possivelmente cataclasito) ou argila (Figura 169). De registar ainda que não foi detectada a presença de água em qualquer descontinuidade.

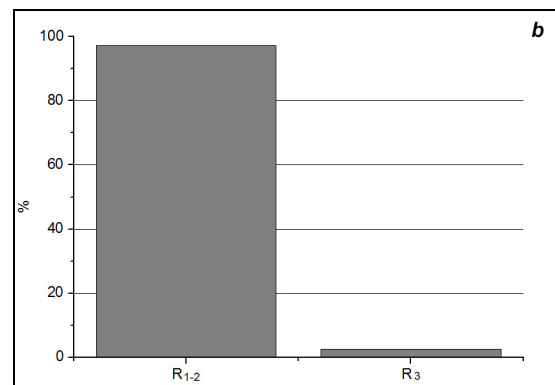
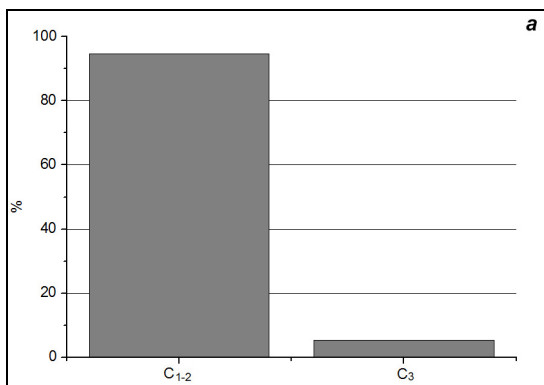


Figura 168 - Curvatura (a) e rugosidade (b) das descontinuidades do *Painel 1*.

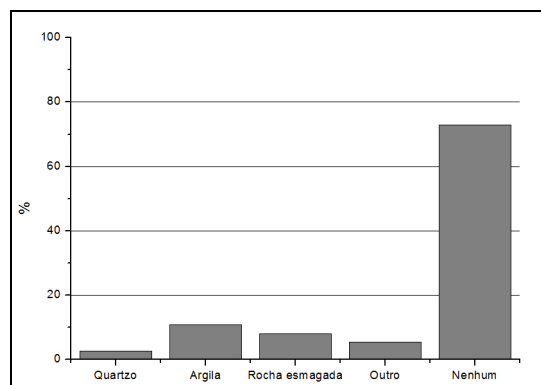


Figura 169 – Tipo de enchimento nas descontinuidades do *Painel 1*.

Através dos diagramas geológico-estruturais, foram identificadas neste painel as principais famílias de descontinuidades, com direcção próxima a N-S (N170°-180°E), subverticais e descontinuidades com direcção NE-SW (N40°-50°E), também subverticais (Figura 170). O espaçamento médio, para estas famílias de descontinuidades corresponde a 120 cm e 80 cm, respectivamente.

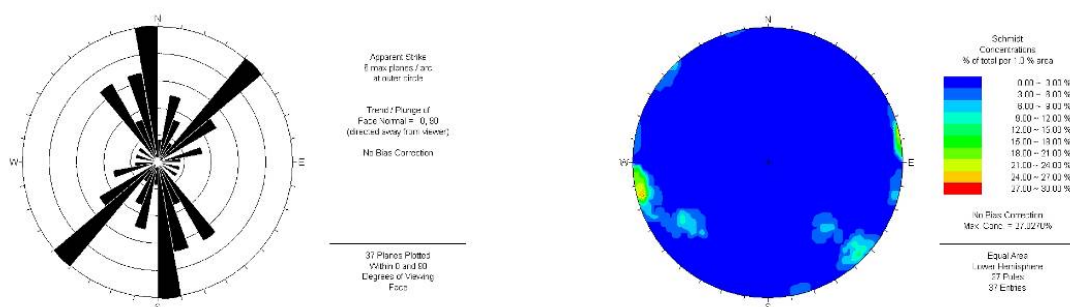


Figura 170 - Diagramas de rosetas e contorno estrutural relativos ao Painel 1 (n=37).

O maciço rochoso do *Painel 1* (Figura 171) apresenta uma resistência à compressão uniaxial elevada ( $S_2$ , 57%) a média ( $S_3$ , 43%), com valores médios de 92,8 MPa e 44,3 MPa, respectivamente. Em termos globais, o valor médio de resistência à compressão medido foi de 72 MPa.

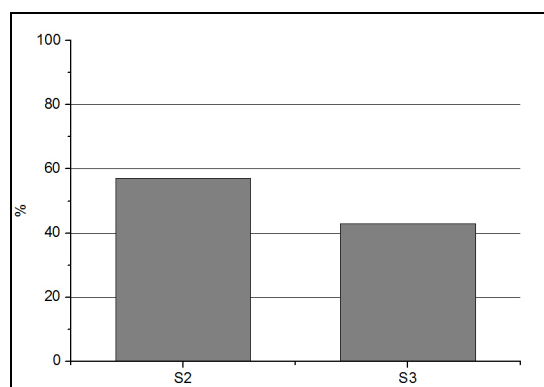


Figura 171 – Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do *Painel 1*.

Nos quadros 31 e 32 apresentam-se a síntese e o resumo estatístico dos parâmetros geológico-geotécnicos medidos no *Painel 1*; na Figura 172 apresentam-se alguns aspectos de campo relativos ao referido talude.



Figura 172 – Aspecto geral do *Painel 1*, com destaque para uma falha com preenchimento de material argiloso, e georreferenciação do ponto inicial do *Painel 1* com recurso a GPS.

Quadro 31 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do *Painel 1*.

NONINHA					
AFLORAMENTO	Painel 1				
Litologia	Granito				
Grau de Alteração	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>		
	-	100.00%	-		
Grau de Fracturação					
<i>Tipo de descontinuidade</i>	Falha	Diaclase			
	24.30%	75.70%			
<i>Famílias principais</i>	N 170° - 180° E; 80° - 90° NE N 40° - 50° E; 75° - 85° NW N 145° - 165° E; 75° - 85° NE				
Abertura	Fe.	Ab.	M.A.		
	78.00%	16.00%	5.00%		
Espaçamento	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>		
	73.00%	19.00%	8.00%		
Continuidade	P.C.	M.C.	C.		
	46.00%	51.00%	3.00%		
Terminação	R	D	O		
	-	27.00%	73.00%		
Curvatura	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>		
	95.00%	5.00%	-		
Rugosidade	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>		
	97.00%	3.00%	-		
Enchimento	Arg.	Qua.	R. Esm.	Out.	Nen.
	11.00%	3.00%	8.00%	5.00%	73.00%
Presença de água	Não		Sim		
	-		100.00%		
Resistência à compressão	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
<i>Descontinuidades</i>	-	57.10%	42.90%	-	-

C <sub>1-2</sub>	Planas a ligeiramente curvas
C <sub>3</sub>	Curvas
C <sub>4-5</sub>	Muito curvas
R <sub>1-2</sub>	Lisas a algo rugosas
R <sub>3</sub>	Medianamente rugosas
R <sub>4-5</sub>	Muito rugosas
Qua.	Quartzo
Arg.	Argila
R. Esm	Rocha Esmagada
Out.	Outro
Nen.	Nenhum
S <sub>1</sub>	Resistência muito elevada
S <sub>2</sub>	Resistência elevada
S <sub>3</sub>	Resistência média
S <sub>4</sub>	Resistência baixa
S <sub>5</sub>	Resistência muito baixa

Fe.	Fechada	P.C.	Pouco contínua
Ab.	Aberta	M.C.	Medianamente contínua
M.A.	Muito aberta	C.	Contínua
F <sub>1-2</sub>	Muito afastadas a afastadas	R	Rocha
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas	D	Descontinuidade
F <sub>4-5</sub>	Próximas a muito próximas	O	Obscura

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).

Quadro 32 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do *Painel 1*.

Noninha ( <i>Painel 1</i> )																			
	Abertura (mm)			Continuidade (m)					Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Espaçamento médio por famílias(cm)			Grau de Fracturação (cm)		
Média	Valor médio global			Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global			Valor médio global		
	1,8			3,5					72,0					100,0			103,3		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N170°-180°E; 80°-90°NE	N40°-50°E; 75°-85°NW	N145°-165°E; 75°-85°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	5,5	16,5	-	1,7	4,6	12,0	-	-	92,8	44,4	-	-	120,0	80,0	40,0	137,5	44,3	13,3
Moda	Global			Global					Global					Global			Global		
	0,1			2,0					NA					80,0			NA		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N170°-180°E; 80°-90°NE	N40°-50°E; 75°-85°NW	N20°-40°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	NA	NA	-	2,0	NA	NA	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	80,0	NA	80,0	40,0	10,0
Mediana	Global			Global					Global					Global			Global		
	0,1			3,0					68,2					85,0			95,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N170°-180°E; 80°-90°NE	N40°-50°E; 75°-85°NW	N20°-40°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	5,0	16,5	-	1,5	4,0	12,0	-	-	89,9	43,1	-	-	110,0	80,0	40,0	135,0	40,0	10,0
Mínimo	Global			Global					Global					Global			Global		
	0,1			1,0					39,7					40,0			10,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N170°-180°E; 80°-90°NE	N40°-50°E; 75°-85°NW	N20°-40°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	1,5	15,0	-	1,0	3,0	12,0	-	-	68,2	39,7	-	-	50,0	80,0	40,0	80,0	40,0	10,0
Máximo	Global			Global					Global					Global			Global		
	18,0			12,0					123,3					190,0			210,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N170°-180°E; 80°-90°NE	N40°-50°E; 75°-85°NW	N20°-40°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,4	10,0	18,0	-	2,5	8,0	12,0	-	-	123,3	50,3	-	-	190,0	80,0	40,0	210,0	50,0	20,0
Desvio Padrão	Global			Global					Global					Global			Global		
	4,3			2,3					31,7					51,8			61,5		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N170°-180°E; 80°-90°NE	N40°-50°E; 75°-85°NW	N20°-40°E; 65°-85°SE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	3,8	2,1	-	0,5	1,5	NA	-	-	25,5	5,4	-	-	55,7	0,0	NA	44,4	5,3	5,8

NA - Não Aplicável

No *Painel 2*, com um comprimento de 88 m, foram efectuadas 40 estações geológicas, das quais 40% correspondem a falhas, 57,5% a diaclases e apenas 2,5% a estruturas filonianas (figura 173). O maciço apresenta-se aqui menos alterado que no *Painel 1*, estando predominantemente (65%) são a pouco alterado ( $W_{1-2}$ , figura 173).

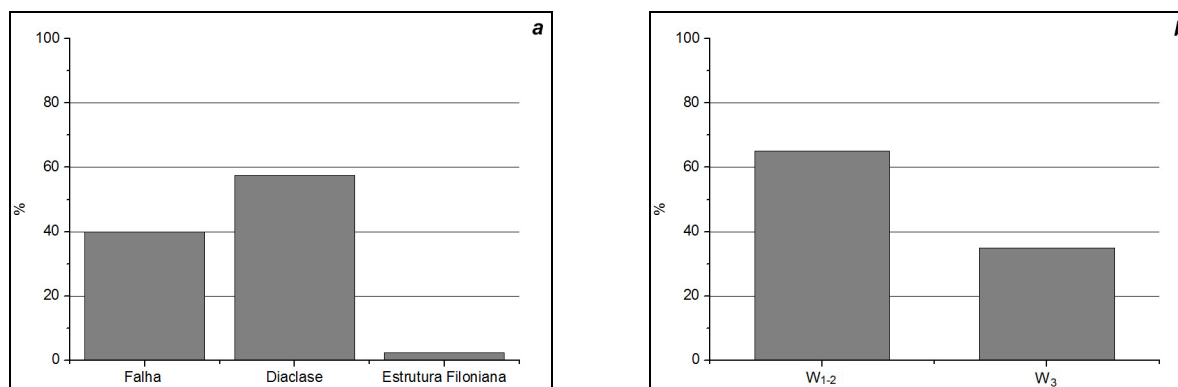


Figura 173 - Tipos de descontinuidade (a) e graus de alteração no *Painel 2*.

As descontinuidades do *Painel 2* estão, em geral, muito afastadas ( $F_{1-2}$ , 80%), tendo-se calculado um valor médio de espaçamento para esta classe de 155,5 cm (figura 174). Para as classes de menor espaçamento ( $F_3$  e  $F_{4-5}$ ) foram calculados espaçamentos de 44 cm e 10 cm, respectivamente. Em termos globais, registou-se neste talude um valor de espaçamento médio de 124,1 cm. A grande maioria das descontinuidades deste talude encontra-se fechada (87%), *i.e.*, com aberturas inferiores a 0,1 mm (figura 174).

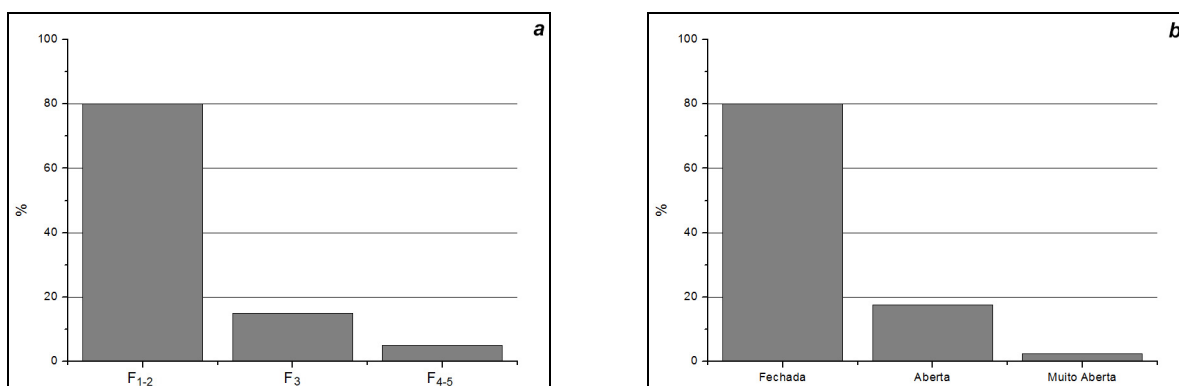


Figura 174 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do *Painel 2*.

Relativamente à continuidade, neste talude as descontinuidades são exclusivamente medianamente contínuas (com valor médio de 3,9 m). O tipo de terminação das descontinuidades é, neste talude, igualmente distribuída pelo tipo obscuro (50%) e pela terminação em descontinuidade (50%).

As maioria das estruturas é plana a ligeiramente curva (92,5%), e exclusivamente lisa a algo rugosa. As estruturas registadas não apresentam, em geral, qualquer enchimento (72,5%). Quando este está presente, corresponde essencialmente a rocha esmagada (cataclasito). De registar ainda que apenas se detectou a presença de água em 10% das descontinuidades (figura 175).

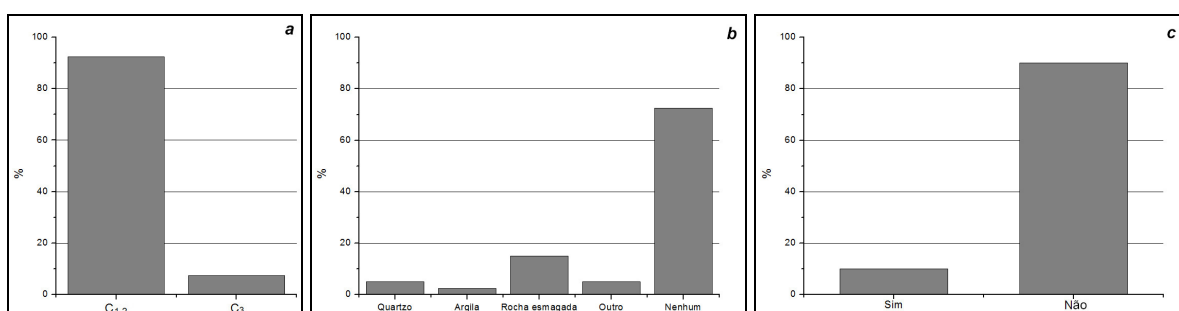


Figura 175 - Curvatura (a), enchimento (b) e presença de água (c) das descontinuidades do *Painel 2*.



As direcções preferenciais das estruturas registadas correspondem às direcções N15°-35°E e N160°-175°E, ambas subverticais. Menos representativa que as anteriores surge a família N50°-70°E, com inclinações entre 60° e 80° para NW (figura 176). Os valores de espaçamento médio por família de descontinuidades são 73,3 cm, 67,0 cm e 146,6 cm, respectivamente.

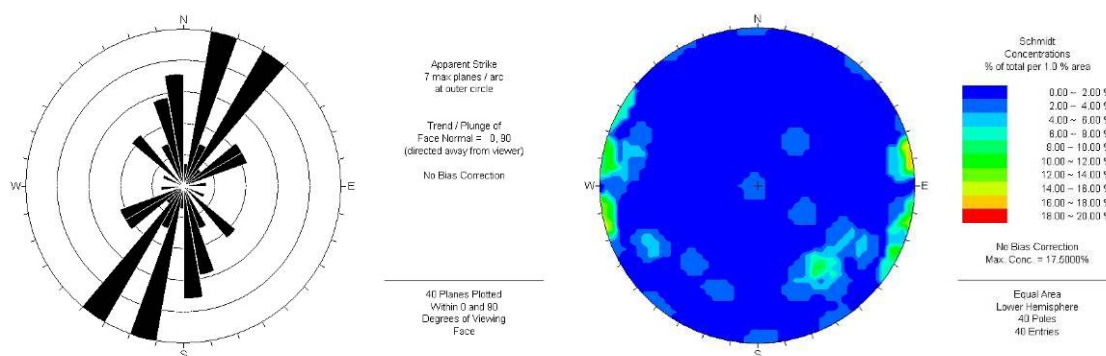


Figura 176 - Diagramas de rosetas e de contorno estrutural relativos ao Painel 2 (n=40).

O maciço rochoso do *Painel 2* apresenta uma resistência à compressão uniaxial (figura 177) muito elevada ( $S_1$ , 8,3% e valor médio de 207,8 MPa) a média ( $S_3$ , 16,7% e valor médio de 51,2 MPa), predominando, no entanto, a classe de resistência elevada ( $S_2$ , 75% e valor médio de 61,4 MPa). Calculou-se, através das medições efectuadas na totalidade das estações geológicas deste painel, uma resistência média de 113 MPa.

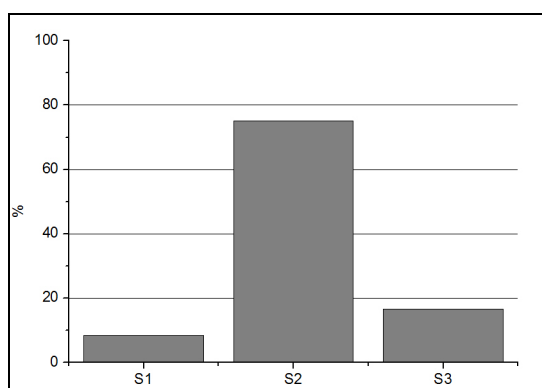


Figura 177 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do *Painel 2*.

Nos quadros 33 e 34 apresentam-se a síntese e o resumo estatístico dos parâmetros geológico-geotécnicos medidos *Painel 2*; na figura 178 apresentam-se alguns aspectos de campo relativos ao referido talude.



Figura 178 – Aspecto da georreferenciação do final do Pannel 2, onde se observam descontinuidades subverticais e sub-horizontais e aspecto do ensaio esclerométrico em descontinuidades.

Quadro 33 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Pannel 2.

AFLORAMENTO		NONINHA				
		Pannel 2				
Litologia	Granito					
Grau de Alteração	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>			
	65.00%	35.00%	-			
Grau de Fracturação						
Tipo de descontinuidade	Falha	Diaclase	Est. Filoniana			
	40.00%	57.50%	2.50%			
Famílias principais	N 15° - 35° E; 65° - 85° NW N 160° - 175° E; 80° - 90° NE N 50° - 70° E; 60° - 80°NW					
Abertura	Fe.	Ab.	M.A.			
	80.00%	17.00%	3.00%			
Espaçamento	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>			
	80.00%	20.00%	-			
Continuidade	M.P.C.	P.C.	M.C.			
	-	-	100.00%			
Terminação	R	D	O			
	-	50.00%	50.00%			
Curvatura	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>			
	92.00%	8.00%	-			
Rugosidade	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>			
	100.00%	-	-			
Enchimento	Arg.	Qua.	R. Esm.	Out.	Nen.	
	3.00%	5.00%	15.00%	5.00%	72.00%	
Presença de água	Não		Sim			
	90.00%		10.00%			
Resistência à compressão	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	
Descontinuidades	8.30%	75.00%	16.70%	-	-	

C <sub>1-2</sub>	Planas a ligeiramente curvas
C <sub>3</sub>	Curvas
C <sub>4-5</sub>	Muito curvas
R <sub>1-2</sub>	Lisas a algo rugosas
R <sub>3</sub>	Medianamente rugosas
R <sub>4-5</sub>	Muito rugosas
Qua.	Quartzo
Arg.	Argila
R. Esm.	Rocha esmagada
Out.	Outro
Nen.	Nenhum
S <sub>1</sub>	Resistência muito elevada
S <sub>2</sub>	Resistência elevada
S <sub>3</sub>	Resistência média
S <sub>4</sub>	Resistência baixa
S <sub>5</sub>	Resistência muito baixa

Fe.	Fechada	M.P.C.	Muito pouco contínua
Ab.	Aberta	P.C.	Pouco contínua
M.A.	Muito aberta	M.C.	Medianamente contínua
F <sub>1-2</sub>	Muito afastadas a afastadas	R	Rocha
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas	D	Descontinuidade
F <sub>4-5</sub>	Próximas a muito próximas	O	Obscura

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).

quadro 34 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do *Painel 2*.

Noninha ( <i>Painel 2</i> )																			
	Abertura (mm)			Continuidade (m)					Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Espaçamento médio por famílias(cm)			Grau de Fracturação (cm)		
	Valor médio global			Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global			Valor médio global		
Média	1,6			3,9					113,0					100,0			124,1		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N15°-35°E; 65°-85°NW	N160°-175°E; 80°-90°NE	N50°-70°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	6,6	17,0	-	-	3,9	-	-	207,8	61,4	51,2	-	-	120,0	80,0	40,0	155,5	44,0	10,0
Moda	Global			Global					Global					Global			Global		
	0,1			3,0					NA					80,0			200,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N15°-35°E; 65°-85°NW	N160°-175°E; 80°-90°NE	N50°-70°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,1	NA	NA	-	-	3,0	-	-	NA	NA	NA	-	-	NA	80,0	NA	200,0	50,0	10,0	
Mediana	Global			Global					Global					Global			Global		
	0,1			3,5					68,2					98,0			110,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N15°-35°E; 65°-85°NW	N160°-175°E; 80°-90°NE	N50°-70°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,1	5,0	17,0	-	-	3,5	-	-	-	89,9	43,1	-	-	207,8	104,1	54,4	160,0	50,0	10,0	
Mínimo	Global			Global					Global					Global			Global		
	0,1			3,0					39,7					51,2			10,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N15°-35°E; 65°-85°NW	N160°-175°E; 80°-90°NE	N50°-70°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,1	1,5	17,0	-	-	3,0	-	-	-	68,2	39,7	-	-	207,8	61,4	51,2	70,0	30,0	10,0	
Máximo	Global			Global					Global					Global			Global		
	17,0			9,0					123,3					207,8			250,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N15°-35°E; 65°-85°NW	N160°-175°E; 80°-90°NE	N50°-70°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,2	10,0	17,0	-	-	9,0	-	-	-	123,3	50,3	-	-	207,8	187,1	57,6	250,0	50,0	10,0	
Desvio Padrão	Global			Global					Global					Global			Global		
	3,8			1,3					31,7					54,1			73,8		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N15°-35°E; 65°-85°NW	N160°-175°E; 80°-90°NE	N50°-70°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,0	3,4	NA	-	-	1,3	-	-	-	25,5	5,4	-	-	NA	45,1	4,5	57,8	8,9	0,0	

NA - Não Aplicável

O *Painel 3* apresenta um comprimento total de 74 m, onde foram medidas 29 descontinuidades, e que se encontra em continuidade com o *Painel 4* (a cerca de 20 m) no mesmo talude. Uma vez que o *Painel 4* apresenta apenas uma extensão de 8 m, onde foram registadas apenas 8 descontinuidades, este foi tratado estatisticamente em conjunto com o *Painel 3*, tendo em atenção, naturalmente, a distância entre os dois taludes, e a sua interferência no valor estatístico do espaçamento das descontinuidades.

Assim, as descontinuidades registadas correspondem (figura 179) essencialmente a diaclases (89,4%), apresentando-se o maciço predominantemente (66,2%) medianamente alterado ( $W_3$ ).

As descontinuidades dos *Painéis 3 e 4* estão, em geral, muito afastadas ( $F_{1-2}$ , 67,6%), tendo-se calculado um valor médio de espaçamento para esta classe de 166 cm (figura 180). Para as classes de menor espaçamento ( $F_3$  e  $F_{4-5}$ ) foram calculados espaçamentos de 41,7 cm e 14 cm, respectivamente. Em termos globais, registou-se neste talude um valor de 108,1 cm. A grande maioria das descontinuidades deste talude encontra-se fechada (87%), i.e., com aberturas inferiores a 0,1 mm (figura 180).

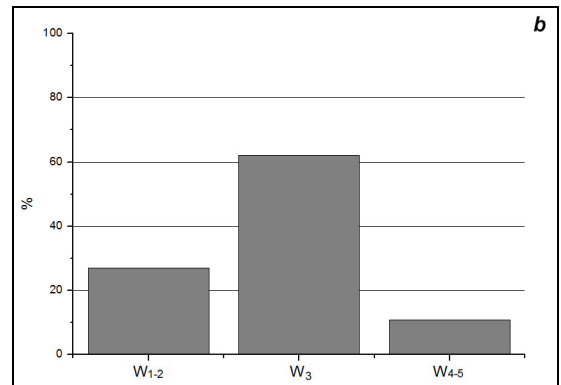
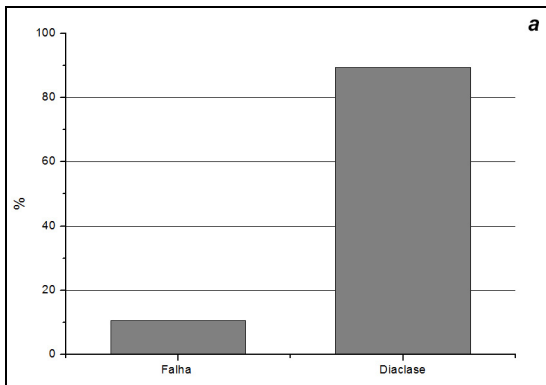


Figura 179 - Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração nos *Paineis 3 e 4*.

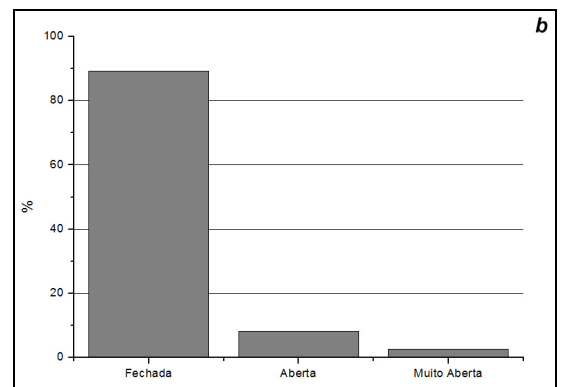
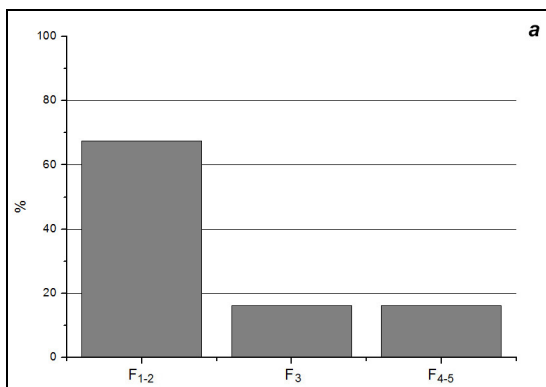


Figura 180 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades dos *Painéis 3 e 4*.

O tipo de terminação das descontinuidades é, neste talude, predominantemente obscuro (70,3%), apresentando-se as restantes com terminação em descontinuidade. Em termos de continuidade, registaram-se neste talude, sobretudo, descontinuidades pouco contínuas (62,2%, com valor médio de 1,7 m). O valor médio da classe de descontinuidades medianamente contínuas é de 4,5 m (Figura 181).

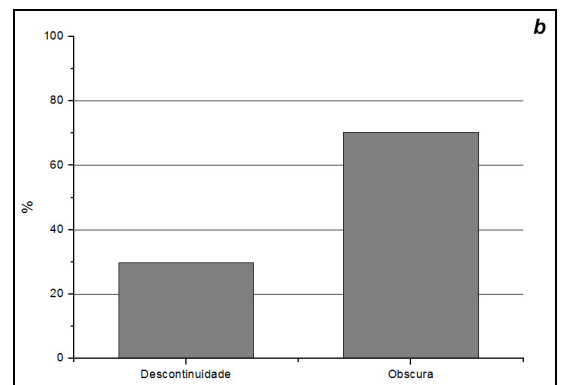
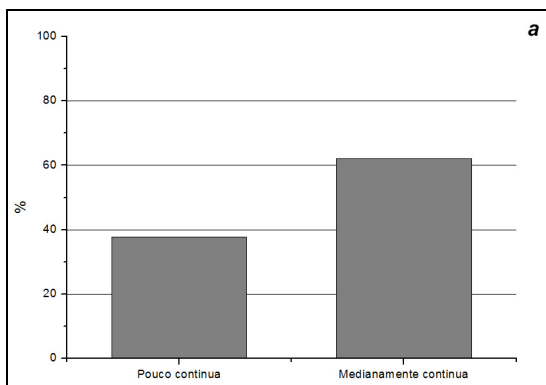


Figura 181 - Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades dos *Paineis 3 e 4*.

As descontinuidades encontram-se, tal como nos taludes anteriores, maioritariamente (75,7%) sem enchimento (figura 182), e quando este está presente, corresponde a rocha esmagada (cataclasito). Na sua maioria, as descontinuidades são planas a ligeiramente curvas ( $C_{1-2}$  a  $C_3$ ), bem como exclusivamente lisas a ligeiramente rugosas ( $R_{1-2}$ ). A presença de água foi registada em 16,2% das descontinuidades, sendo mesmo gotejante em 5,4% das descontinuidades, que se localizam essencialmente no *Painel 3*.

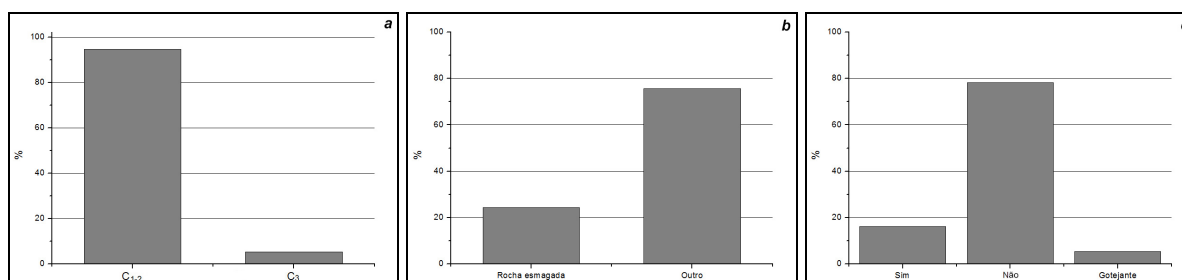


Figura 182 - Curvatura (a), enchimento (b) e presença de água (c) das descontinuidades dos *Painéis 3 e 4*.

Nestes painéis, as principais famílias de descontinuidades registadas correspondem essencialmente à família principal  $N10^{\circ}-20^{\circ}E$ , sub-vertical, e às famílias, com muito menor expressão,  $N40^{\circ}-50^{\circ}E$ , com inclinação  $60^{\circ}-75^{\circ}NW$  e  $N110^{\circ}-120^{\circ}E$ , com inclinação  $30^{\circ}-50^{\circ}SW$  (figura 183). O espaçamento médio registado, para a família principal corresponde a 152,9 cm.

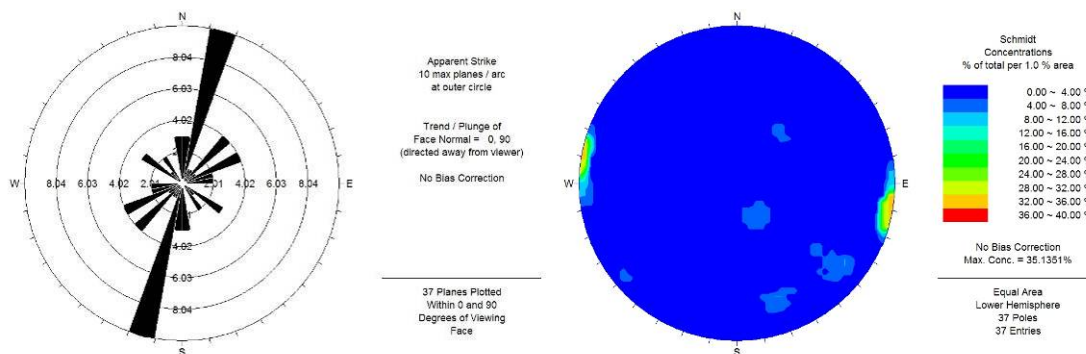


Figura 183 - Diagramas de rosetas e de contorno estrutural relativos aos *Painéis 3 e 4* ( $n=37$ ).

O maciço apresenta praticamente a mesma resistência à compressão uniaxial que o painel anterior, sendo muito elevada ( $S_1$ , 8,3%) a média ( $S_3$ , 16,7%), predominando, no entanto, a classe de resistência elevada ( $S_2$ , 75%), com um valor médio de 97,2 MPa. Para as classes  $S_1$  e  $S_2$  registaram-se valores de resistência média de 241,6 MPa e 50,7 MPa, respectivamente. Em termos gerais, o valor médio de resistência à compressão uniaxial para estes 2 painéis situa-se nos 101,5 MPa (figura 184).

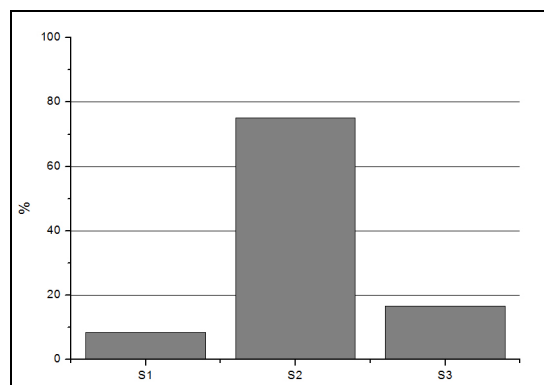


Figura 184 - Resistência à compressão uniaxial nos painéis 3 e 4.

Nos quadros 35 e 36 apresenta-se a síntese e o resumo estatístico dos parâmetros geológico-geotécnicos medidos painéis 3 e 4; na figura 185 apresentam-se alguns aspectos de campo relativos ao referido talude.

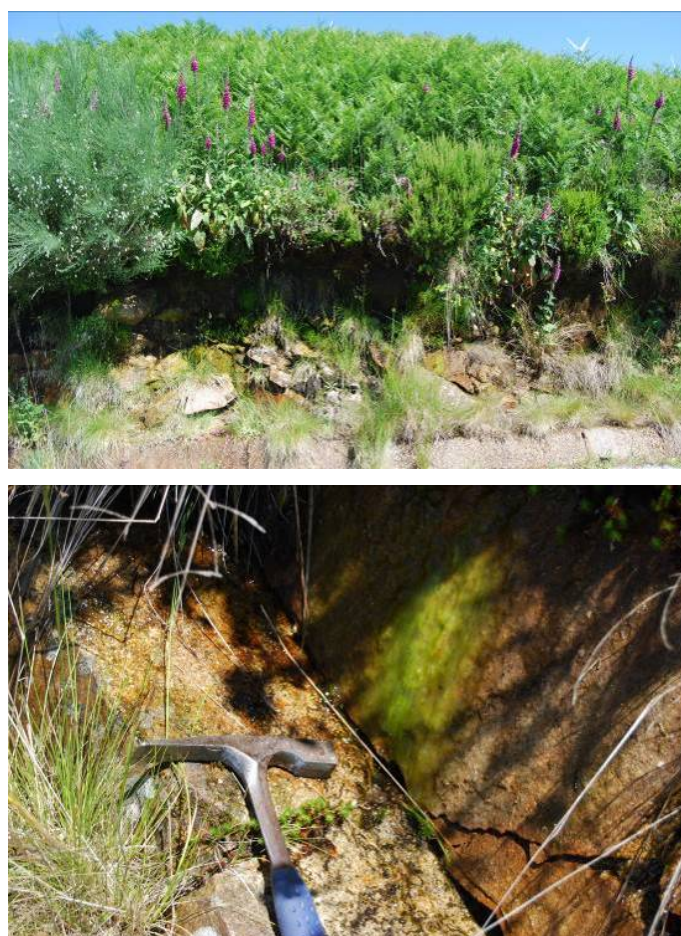


Figura 185 – Aspecto de uma parte do Painel 3 onde a circulação de água é mais intensa e pormenor de uma descontinuidade com água gotejante.

Quadro 35 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos dos Painéis 3 e 4.

NONINHA		Painel 3 e 4				
<b>AFLORAMENTO</b>	Painel 3 e 4					
<b>Litologia</b>	Granito					
<b>Grau de Alteração</b>	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>			
	27.00%	<b>62.00%</b>	11.00%			
<b>Grau de Fracturação</b>						
<i>Tipo de descontinuidade</i>	Falha	Diaclase				
	21.60%	<b>78.40%</b>				
<i>Famílias principais</i>	N 10° - 20° E; 80° - 90° NW N 45° - 55° E; 60° - 75° NW N 110° - 120° E; 30° - 50°NW					
<b>Abertura</b>	Fe.	Ab.	M.A.			
	<b>89.00%</b>	8.00%	3.00%			
<b>Espaçamento</b>	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>			
	<b>68.00%</b>	16.00%	16.00%			
<b>Continuidade</b>	M.P.C.	P.C.	M.C.			
	-	38.00%	<b>62.00%</b>			
<b>Terminação</b>	R	D	O			
	-	30.00%	<b>70.00%</b>			
<b>Curvatura</b>	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>			
	<b>95.00%</b>	5.00%	-			
<b>Rugosidade</b>	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>			
	<b>100.00%</b>	-	-			
<b>Enchimento</b>	Arg.	Qua.	Cat./Mil.	Out.	Nen.	
	-	-	24.00%	-	<b>76.00%</b>	
<b>Presença de água</b>	Não		Sim	Gotejante		
	<b>78.00%</b>		16.00%	5.00%		
<b>Resistência à compressão</b>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	
<i>Descontinuidades</i>	8.30%	<b>75.00%</b>	16.70%	-	-	

C <sub>1-2</sub>	Planas a ligeiramente curvas
C <sub>3</sub>	Curvas
C <sub>4-5</sub>	Muito curvas
R <sub>1-2</sub>	Lisas a algo rugosas
R <sub>3</sub>	Medianamente rugosas
R <sub>4-5</sub>	Muito rugosas
Qua.	Quartzo
Arg.	Argila
R. Esm.	Rocha esmagada
Out.	Outro
Nen.	Nenhum
S <sub>1</sub>	Resistência muito elevada
S <sub>2</sub>	Resistência elevada
S <sub>3</sub>	Resistência média
S <sub>4</sub>	Resistência baixa
S <sub>5</sub>	Resistência muito baixa

Fe.	Fechada	M.P.C.	Muito pouco contínua
Ab.	Aberta	P.C.	Pouco contínua
M.A.	Muito aberta	M.C.	Medianamente contínua
F <sub>1-2</sub>	Muito afastadas a afastadas	R	Rocha
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas	D	Descontinuidade
F <sub>4-5</sub>	Próximas a muito próximas	O	Obscura

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).

Quadro 36 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos dos Painéis 3 e 4.

Noninha (Painéis 3 e 4)																			
	Abertura (mm)			Continuidade (m)					Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Espaçamento médio por famílias(cm)			Grau de Fracturação (cm)		
	Valor médio global	Valor médio global		Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global					
Média	0,6			3,4					101,5					118,3			108,1		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 80°-90°NW	N45°-55°E; 60°-75°NW	N110°-120°E; 30°-50°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	1,5	16,0	-	1,7	4,5	-	-	241,6	97,2	50,7	-	-	152,9	90,0	56,7	166,0	41,7	14,0
Moda	Global			Global					Global					Global			Global		
	0,1			4,0					NA					NA			NA		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 80°-90°NW	N45°-55°E; 60°-75°NW	N110°-120°E; 30°-50°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Mediana	Global			Global					Global					Global			Global		
	<0,1			3,0					94,5					120,0			100,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 80°-90°NW	N45°-55°E; 60°-75°NW	N110°-120°E; 30°-50°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Mínimo	Global			Global					Global					Global			Global		
	0,1			1,0					48,8					10,0			10,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 80°-90°NW	N45°-55°E; 60°-75°NW	N110°-120°E; 30°-50°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Máximo	Global			Global					Global					Global			Global		
	16,0			9,5					241,6					380,0			380,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 80°-90°NW	N45°-55°E; 60°-75°NW	N110°-120°E; 30°-50°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Desvio Padrão	Global			Global					Global					Global			Global		
	2,6			2,0					51,5					105,2			91,6		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 80°-90°NW	N45°-55°E; 60°-75°NW	N110°-120°E; 30°-50°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,0	0,0	NA	-	0,6	1,8	-	-	NA	23,0	2,6	-	-	119,0	70,7	72,3	79,4	7,5	4,5

NA - Não Aplicável

O Painel 5 corresponde a um talude com 34 m, onde se registaram 16 estações geológicas. O estado de alteração do maciço é acentuado, tendo-se registado a maior parte das medições em granito medianamente alterado (W<sub>3</sub>) a muito alterado a decomposto (W<sub>4-5</sub>). As estruturas identificadas, passíveis de medição, correspondem essencialmente a planos de descontinuidade do tipo diaclase, ainda possíveis de identificar no seio da matriz rochosa alterada (figura 186).

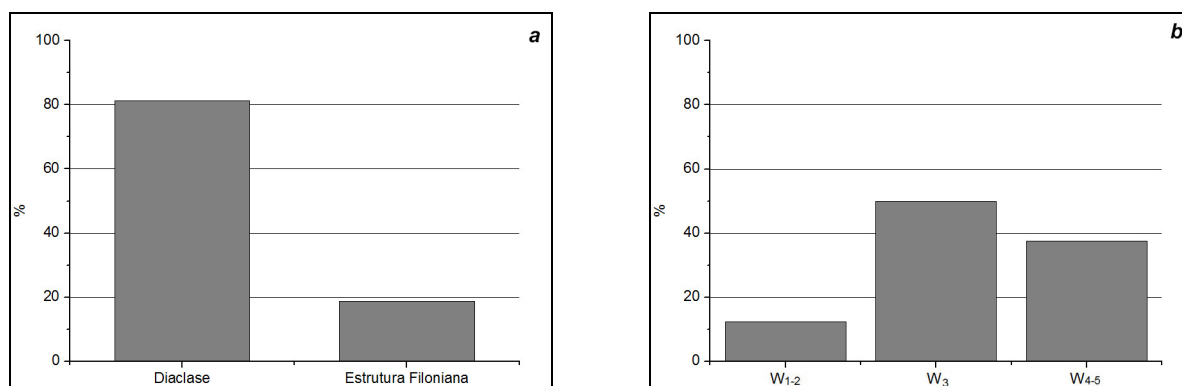


Figura 186 - Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração (b) registados no Painel 5.



As descontinuidades encontram-se muito afastadas a afastadas, classificando-se 93,8% das descontinuidades na classe  $F_{1-2}$ . Os valores médios para as classes  $F_{1-2}$  e  $F_3$  são de 125,0 cm e 60,0 cm, respectivamente, e em termos globais, para todas as descontinuidades do talude, o valor de espaçamento médio cifra-se nos 119,1 cm (figura 187). Na totalidade dos casos essas descontinuidades apresentam-se fechadas.

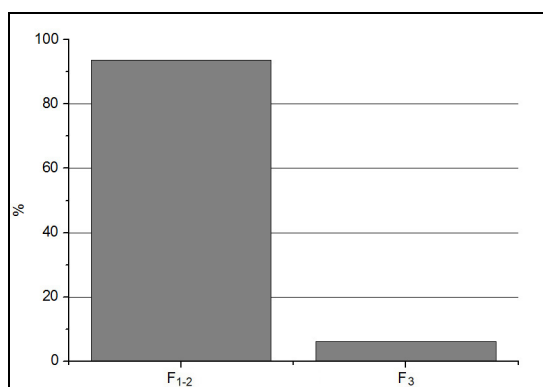


Figura 187 – Espaçamento médio das descontinuidades do *Painel 5*.

As descontinuidades do painel 5 terminam, quase exclusivamente de forma obscura, bem como não apresentam qualquer enchimento. Apresentam-se também lisas a algo rugosas e planas a ligeiramente curvas, não tendo sido verificada a presença de água em qualquer descontinuidade (cf. quadro 37).

As principais famílias identificadas no *Painel 5* correspondem às direcções  $N0^{\circ}-20^{\circ}E$  e  $N60^{\circ}-70^{\circ}E$ , ambas sub-verticais (figura 188), que apresentam um espaçamento médio de 106,7 cm e de 140 cm, respectivamente.

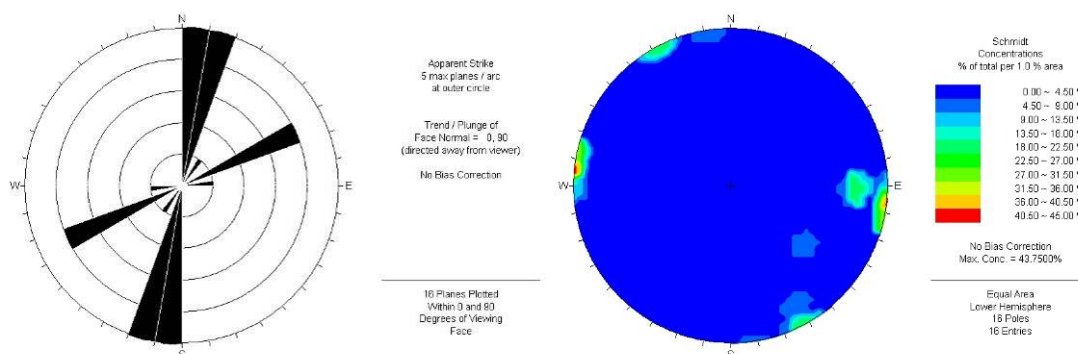


Figura 188 - Diagramas de rosetas e de contorno estrutural relativos ao *Painel 5* (n=16)

A maior parte dos valores de resistência à compressão uniaxial, medidos na superfície das descontinuidades, corresponde a resistência elevada ( $S_2$ , 75%), com um valor médio de 134,4 MPa (figura 189). À classe de resistência  $S_1$ , corresponde

---

um valor médio de 223,7 MPa, e à globalidade do painel um valor médio de 156,7 MPa.

Nos quadros 37 e 38 apresentam-se a síntese e o resumo estatístico dos parâmetros geológico-geotécnicos medidos no *Painel 5*; na figura 190 apresentam-se alguns aspectos de campo relativos ao referido talude.

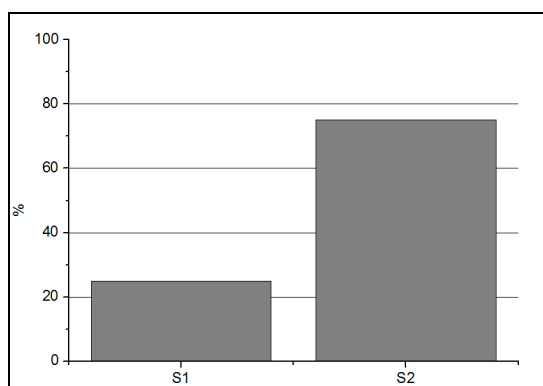


Figura 189 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do *Painel 5*.

Quadro 37 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 5.

NONINHA					
AFLORAMENTO	Painel 5				
Litologia	Granito				
Grau de Alteração	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>		
	13.00%	50.00%	37.00%		
Grau de Fracturação					
Tipo de descontinuidade	Falha		Diaclase		
	81.20%		18.80%		
Famílias principais	N 0° - 20° E;				
	70° - 90° NW				
	N 60° - 70° E;				
	75° - 85° NW				
Abertura	Fe.	Ab.	M.A.		
	100.00%	-	-		
Espaçamento	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>		
	94.00%	6.00%	-		
Continuidade	M.P.C.	P.C.	M.C.		
	-	94.00%	6.00%		
Terminação	R	D	O		
	-	6.00%	94.00%		
Curvatura	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>		
	94.00%	6.00%	-		
Rugosidade	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>		
	100.00%	-	-		
Enchimento	Arg.	Qua.	R. Esm.	Out.	Nen.
	-	-	-	-	100.00%
Presença de água	Não		Sim		
	100.00%		-		
Resistência à compressão	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
	25.00%	75.00%	-	-	-
<i>Descontinuidades</i>					
Fe.	Fechada			M.P.C.	Muito pouco contínua
Ab.	Aberta			P.C.	Pouco contínua
M.A.	Muito aberta			M.C.	Medianamente contínua
F <sub>1-2</sub>	Muito afastadas a afastadas			R	Rocha
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas			D	Descontinuidade
F <sub>4-5</sub>	Próximas a muito próximas			O	Obscura

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).

Quadro 38 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do *Panel 5*.

Noninha ( <i>Panel 5</i> )																		
	Abertura (mm)			Continuidade (m)					Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Espaçamento médio por famílias (cm)		Grau de Fracturação (cm)		
	Valor médio global			Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global		Valor médio global		
<b>Média</b>	0,1			1,7					156,7					123,3		119,1		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N0°-20°E; 70°-90°NW	N60°-70°E; 75°-85°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	-	-	-	1,6	3,5	-	-	223,7	134,4	-	-	-	106,7	140,0	125,0	60,0	-
<b>Moda</b>	Global			Global					Global					Global		Global		
	0,1			1,0					NA					150,0		70,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N0°-20°E; 70°-90°NW	N60°-70°E; 75°-85°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
<b>Mediana</b>	Global			Global					Global					Global		Global		
	0,1			1,8					137,8					120,0		90,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N0°-20°E; 70°-90°NW	N60°-70°E; 75°-85°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
<b>Mínimo</b>	Global			Global					Global					Global		Global		
	0,1			1,0					127,5					70,0		60,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N0°-20°E; 70°-90°NW	N60°-70°E; 75°-85°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
<b>Máximo</b>	Global			Global					Global					Global		Global		
	0,1			3,5					223,7					200,0		240,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N0°-20°E; 70°-90°NW	N60°-70°E; 75°-85°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
<b>Desvio Padrão</b>	Global			Global					Global					Global		Global		
	0,0			0,7					45,2					51,3		60,2		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N0°-20°E; 70°-90°NW	N60°-70°E; 75°-85°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,0	-	-	-	0,6	NA	-	-	NA	8,9	-	-	-	37,9	65,6	60,0	NA	-

NA - Não Aplicável



Figura 190 – Aspecto de um plano de falha registrado no *panel 5*.

O Painel 6 apresenta 45 m de extensão, no qual foi possível medir 25 descontinuidades, exclusivamente num maciço medianamente alterado (W3), 72% das quais correspondem a diaclases (figura 191).

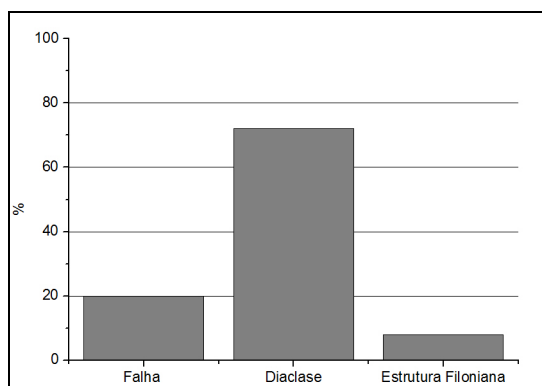


Figura 191 - Tipos de descontinuidade registados no *Painel 6*.

As descontinuidades encontram-se muito afastadas a afastadas, classificando-se 84% das descontinuidades na classe  $F_{1-2}$ . Os valores médios para as classes  $F_{1-2}$ ,  $F_3$  e  $F_{4-5}$  são de 129,2 cm, 46,6 cm e 10 cm, respectivamente, e em termos globais, para todas as descontinuidades do talude, o valor de espaçamento médio estima-se em 108,9 cm (figura 192). A maior parte das descontinuidades neste talude encontra-se fechada (87%).

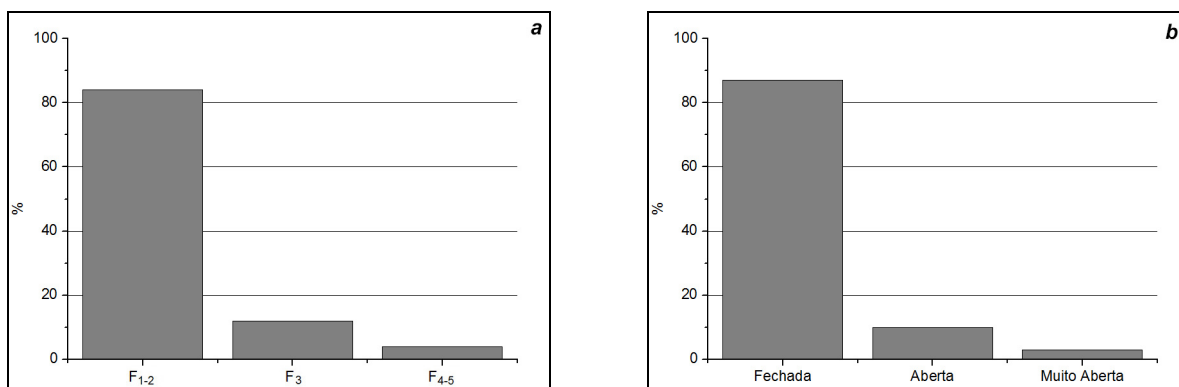


Figura 192 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do *Painel 6*.

As descontinuidades deste painel encontram-se, na sua grande maioria, sem preenchimento, sendo planas a ligeiramente curvas e lisas a algo rugosas. A terminação é maioritariamente obscura, sendo pouco contínuas a medianamente contínuas (figura 193 e figura 194).

Neste painel as descontinuidades encontram-se sobretudo concentradas nas famílias de direcção  $N40^{\circ}-50^{\circ}E$ ,  $N10^{\circ}-20^{\circ}E$  e  $N130^{\circ}-140^{\circ}E$ , todas elas sub-verticais (figura 195). O espaçamento médio para cada família é de 93,3 cm, 137,5 cm e 45 cm, respectivamente.

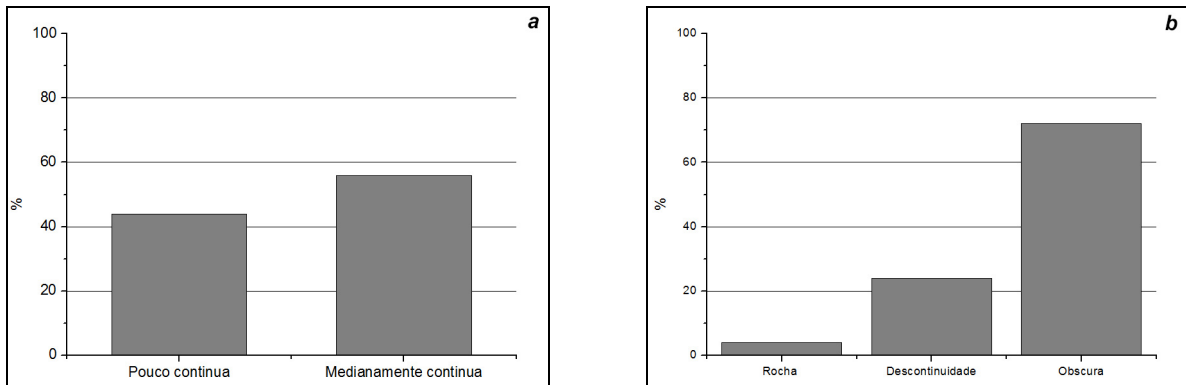


Figura 193 – Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades do *Painel 6*.

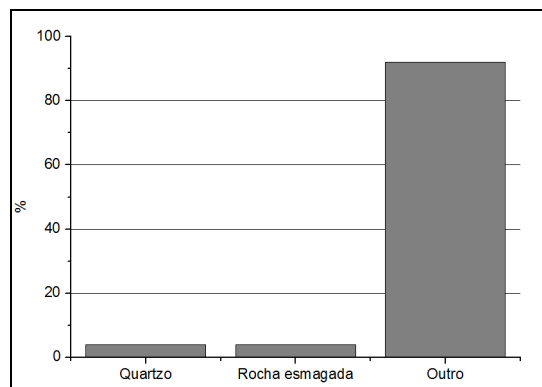


Figura 194 – Tipo de enchimento das descontinuidades do *Painel 6*.

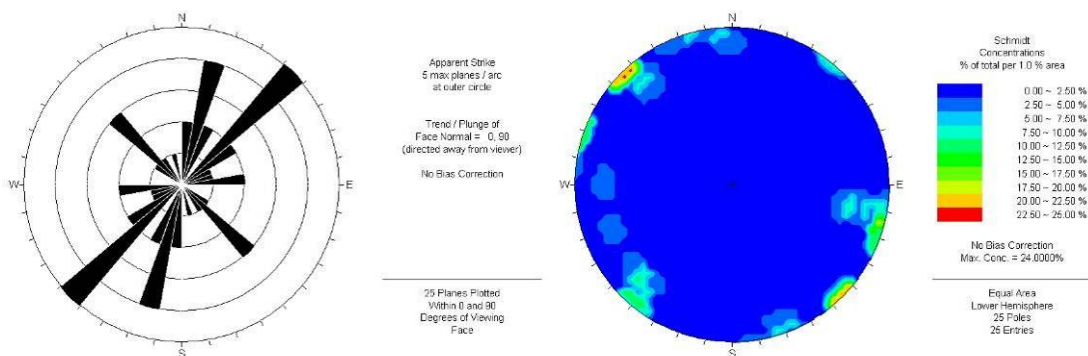


Figura 195 - Diagramas de rosetas e contorno estrutural relativos ao *Painel 6* (n=25).

A resistência à compressão uniaxial situa-se numa gama de valores elevados ( $S_2$ ), ou seja no intervalo 60-200 MPa, tendo-se registado um valor médio de 127,5 MPa.

Nos quadros 39 e 40 apresenta-se a síntese e o resumo estatístico dos parâmetros geológico-geotécnicos medidos no *Painel 6*. Na figura 196 apresenta-se um aspecto geral do *Painel 6*.

Quadro 39 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 6.

NONINHA					
AFLORAMENTO	Painel 6				
Litologia	Granito				
Grau de Alteração	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>		
	-	100.00%	-		
Grau de Fracturação					
<i>Tipo de descontinuidade</i>	Falha	Diaclase	Est. Filoniana		
	20.00%	72.00%	8.00%		
<i>Famílias principais</i>	N 40° - 50° E; 80° - 90° SE N 10° - 20° E; 80° - 90° NW N 130° - 140° E; 70° - 80° NE				
Abertura	Fe.	Ab.	M.A.		
	92.00%	4.00%	4.00%		
Espaçamento	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>		
	84.00%	12.00%	4.00%		
Continuidade	M.P.C.	P.C.	M.C.		
	-	44.00%	56.00%		
Terminação	R	D	O		
	4.00%	24.00%	72.00%		
Curvatura	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>		
	100.00%	-	-		
Rugosidade	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>		
	100.00%	-	-		
Enchimento	Arg.	Qua.	R. Esm.	Out.	Nen.
	-	4.00%	4.00%	-	92.00%
Presença de água	Não		Sim		
	100.00%		-		
Resistência à compressão	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
<i>Descontinuidades</i>	-	100.00%	-	-	-

C <sub>1-2</sub>	Planas a ligeiramente curvas
C <sub>3</sub>	Curvas
C <sub>4-5</sub>	Muito curvas
R <sub>1-2</sub>	Lisas a algo rugosas
R <sub>3</sub>	Medianamente rugosas
R <sub>4-5</sub>	Muito rugosas
Qua.	Quartzo
Arg.	Argila
R. Esm.	Rocha esmagada
Out.	Outro
Nen.	Nenhum
S <sub>1</sub>	Resistência muito elevada
S <sub>2</sub>	Resistência elevada
S <sub>3</sub>	Resistência média
S <sub>4</sub>	Resistência baixa
S <sub>5</sub>	Resistência muito baixa

Fe.	Fechada	M.P.C.	Muito pouco contínua
Ab.	Aberta	P.C.	Pouco contínua
M.A.	Muito aberta	M.C.	Medianamente contínua
F <sub>1-2</sub>	Muito afastadas a afastadas	R	Rocha
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas	D	Descontinuidade
F <sub>4-5</sub>	Próximas a muito próximas	O	Obscura

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).



Figura 196 – Aspectos da alteração do maciço e dos planos de falha registados no painel 6.  
 Quadro 40 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 6.

Noninha (Painel 6)																			
	Abertura (mm)			Continuidade (m)				Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Espaçamento médio por famílias(cm)			Grau de Fracturação (cm)			
	Valor médio global	Valor médio global			Valor médio global				Valor médio global					Valor médio global					
Média	0,9			2,5				127,5					100,0			108,9			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N40°-50°E; 80°-90°SE	N10°-20°E; 80°-90°NW	N130°-140°E; 70°-80°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	5,0	16,0	-	1,5	3,4	-	-	-	127,5	-	-	-	93,3	137,5	45,0	129,3	46,7	10,0
Moda	Global			Global				Global					Global			Global			
	0,1			3,0				NA					NA			NA			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N40°-50°E; 80°-90°SE	N10°-20°E; 80°-90°NW	N130°-140°E; 70°-80°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,1	NA	NA	-	NA	3,0	-	-	-	NA	-	-	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Mediana	Global			Global				Global					Global			Global			
	0,1			3,0				117,5					100,0			100,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N40°-50°E; 80°-90°SE	N10°-20°E; 80°-90°NW	N130°-140°E; 70°-80°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,1	5,0	16,0	-	1,5	3,3	-	-	-	117,5	-	-	-	90,0	135,0	45,0	120,0	50,0	10,0	
Mínimo	Global			Global				Global					Global			Global			
	0,1			1,0				92,8					10,0			10,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N40°-50°E; 80°-90°SE	N10°-20°E; 80°-90°NW	N130°-140°E; 70°-80°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,1	5,0	16,0	-	1,0	3,0	-	-	-	92,8	-	-	-	40,0	100,0	10,0	80,0	40,0	10,0	
Máximo	Global			Global				Global					Global			Global			
	16,0			4,0				171,4					180,0			210,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N40°-50°E; 80°-90°SE	N10°-20°E; 80°-90°NW	N130°-140°E; 70°-80°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,1	5,0	16,0	-	2,0	4,0	-	-	-	171,4	-	-	-	160,0	180,0	80,0	210,0	50,0	10,0	
Desvio Padrão	Global			Global				Global					Global			Global			
	3,3			1,0				27,5					51,9			54,8			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N40°-50°E; 80°-90°SE	N10°-20°E; 80°-90°NW	N130°-140°E; 70°-80°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
0,0	NA	NA	-	0,5	0,4	-	-	-	27,5	-	-	-	46,3	38,6	49,5	42,7	5,8	NA	

NA - Não Aplicável

O Painel 7 apresenta uma extensão de 113 m, onde foi possível realizar 61 estações geológicas (Figura 197), num maciço são a pouco alterado (W<sub>1-2</sub>, 52%) a medianamente alterado (W<sub>3</sub>, 48%). A maioria das descontinuidades registadas corresponde a diaclases (62,3%), constituindo as falhas uma percentagem importante (36,1%), sendo praticamente inexistentes as estruturas do tipo filoniano.



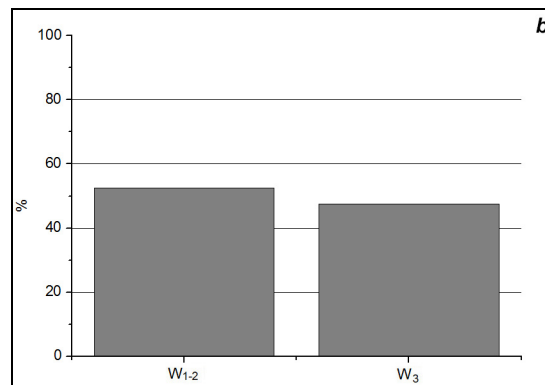
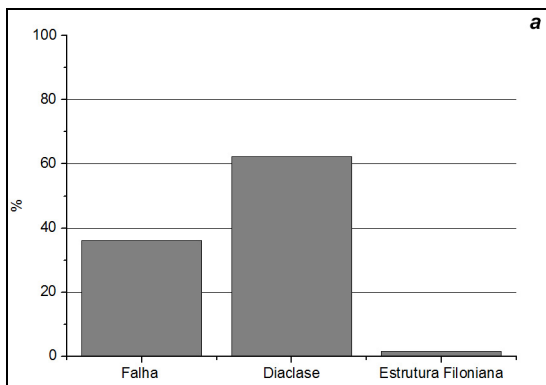


Figura 197 – Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração (b) registados no *Painel 7*.

As descontinuidades do *Painel 7* estão, em geral, muito afastadas ( $F_{1-2}$ ; 49,2%) a medianamente afastadas ( $F_3$ , 39,3%) tendo-se calculado um valor médio de espaçamento para estas classes de 107,1 cm e 46,2 cm, respectivamente (figura 198). Para a classe de menor espaçamento ( $F_{4-5}$ ) o espaçamento médio é de 15,0 cm. Em termos globais, registou-se neste talude um valor médio de 58,8 cm. Uma parte das descontinuidades deste talude encontra-se fechada (52,5%). As que apresentam abertura podem designar-se por muito abertas, tendo sido registado um valor médio de abertura para esta classe de 15,4 cm (figura 198).

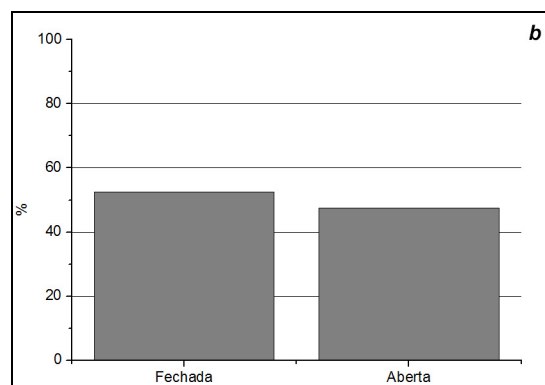
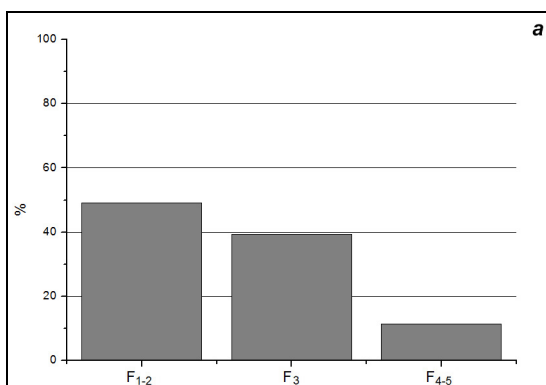


Figura 198 - Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades do *Painel 7*.

À semelhança do *Painel 6*, as descontinuidades deste painel encontram-se, na sua maioria, sem enchimento (78,7%), sendo planas a ligeiramente curvas e lisas a algo rugosas (figura 199 e figura 200). A terminação predominante é obscura, sendo as estruturas, em geral, pouco contínuas a medianamente contínuas, com um valor médio de 1,6 m e 3,7 m, respectivamente.

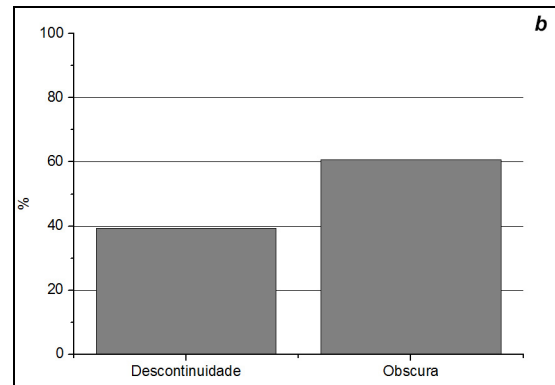
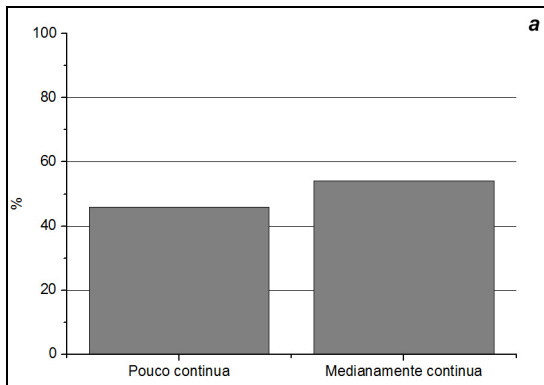


Figura 199 – Continuidade (a) e terminação (b) das descontinuidades do Painel 7.

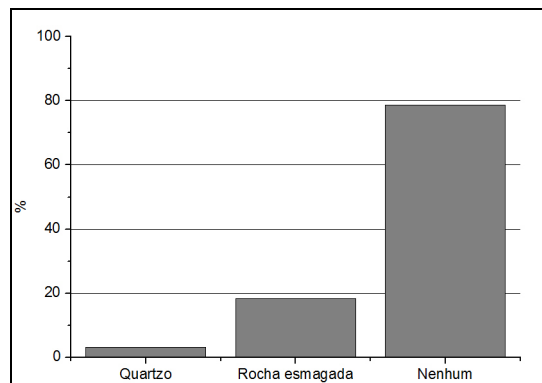


Figura 200 - Tipo de enchimento das descontinuidades do Painel 7.

As estruturas registadas no *Painel 7* distribuem-se em famílias sub-verticais, de direcções N70°-90°E, N20°-30°E e N120°-130°E (Figura 201). Estas famílias apresentam um espaçamento de 55 cm, 80 cm e 56,7 cm, respectivamente.

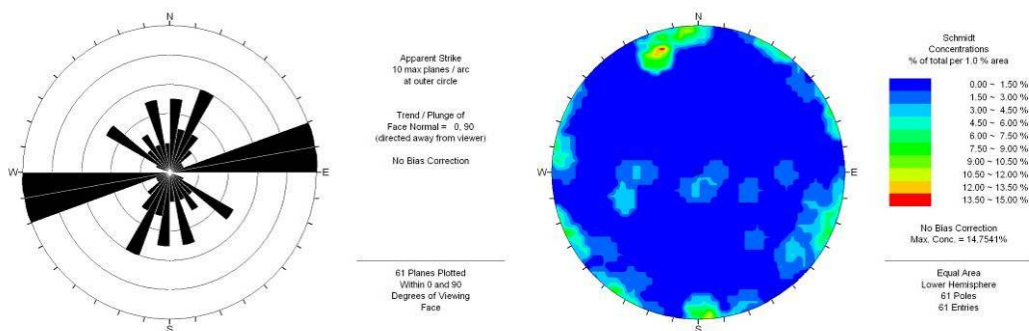


Figura 201 - Diagramas de rosetas e contorno estrutural relativos ao Painel 7 (n=61).

A resistência à compressão uniaxial situa-se predominantemente nos valores elevados ( $S_2$ , 90,5%), tendo-se registado um valor médio de 132,1 MPa para a globalidade das medições efectuadas neste talude (Figura 202).

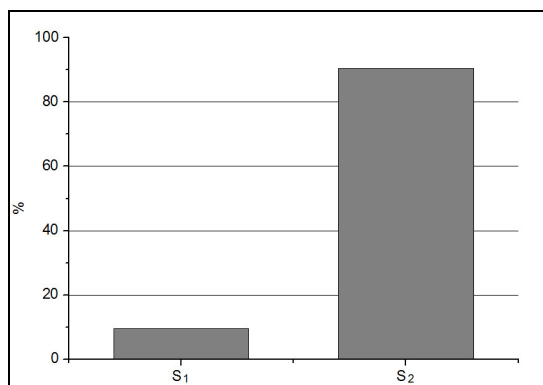


Figura 202 - Resistência à compressão uniaxial das descontinuidades do *Painel 7*.

Nos quadros 41 e 42 apresentam-se a síntese e o resumo estatístico dos parâmetros geológico-geotécnicos medidos no *Painel 7* e a figura 203 apresenta alguns aspectos de campo relativos ao referido talude.

Quadro 41 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos do Pannel 7.

NONINHA					
AFLORAMENTO	Painel 7				
Litologia	Granito				
Grau de Alteração	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>		
	52.00%	48.00%	-		
Grau de Fracturação					
<i>Tipo de descontinuidade</i>	Falha	Diaclase	Est. Filoniana		
	36.10%	62.30%	1.60%		
<i>Famílias principais</i>	N 70° - 90° E; 70° - 85° SE N 20° - 30° E; 80° - 90° NW N 120° - 130° E; 80° - 90°NE				
Abertura	Fe.	Ab.	M.A.		
	92.00%	-	8.00%		
Espaçamento	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>		
	50.00%	39.00%	11.00%		
Continuidade	M.P.C.	P.C.	M.C.		
	-	46.00%	54.00%		
Terminação	R	D	O		
	-	39.00%	61.00%		
Curvatura	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>		
	97.00%	3.00%	-		
Rugosidade	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>		
	98.00%	2.00%	-		
Enchimento	Arg.	Qua.	R. Esm	Out.	Nen.
	-	3.00%	18.00%	-	79.00%
Presença de água	Não		Sim		
	100.00%		-		
Resistência à compressão	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
<i>Descontinuidades</i>	9.50%	90.50%	-	-	-

C <sub>1-2</sub>	Planas a ligeiramente curvas
C <sub>3</sub>	Curvas
C <sub>4-5</sub>	Muito curvas
R <sub>1-2</sub>	Lisas a algo rugosas
R <sub>3</sub>	Medianamente rugosas
R <sub>4-5</sub>	Muito rugosas
Qua.	Quartzo
Arg.	Argila
R. Esm.	Rocha esmagada
Out.	Outro
Nen.	Nenhum
S <sub>1</sub>	Resistência muito elevada
S <sub>2</sub>	Resistência elevada
S <sub>3</sub>	Resistência média
S <sub>4</sub>	Resistência baixa
S <sub>5</sub>	Resistência muito baixa

Fe.	Fechada	M.P.C.	Muito pouco contínua
Ab.	Aberta	P.C.	Pouco contínua
M.A.	Muito aberta	M.C.	Medianamente contínua
F <sub>1-2</sub>	Muito afastadas a afastadas	R	Rocha
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas	D	Descontinuidade
F <sub>4-5</sub>	Próximas a muito próximas	O	Obscura

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).

Quadro 42 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos do Painel 7.

Noninha (Painel 7)																			
	Abertura (mm)			Continuidade (m)					Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Espaçamento médio por famílias(cm)			Grau de Fracturação (cm)		
Média	Valor médio global			Valor médio global					Valor médio global					Valor médio global			Valor médio global		
	1,3			2,7					132,2					61,1			58,8		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N70°-90°E; 70°-85°SE	N20°-30°E; 80°-90°NW	N120°-130°E; 80°-90°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	-	15,4	-	1,6	3,7	-	-	230,8	121,8	-	-	-	55,0	80,0	56,7	107,1	46,2	15,0
Moda	Global			Global					Global					Global			Global		
	0,1			3,0					NA					30,0			60,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N70°-90°E; 70°-85°SE	N20°-30°E; 80°-90°NW	N120°-130°E; 80°-90°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	-	18,0	-	1,0	3,0	-	-	NA	NA	-	-	-	30,0	NA	NA	130,0	60,0	NA
Mediana	Global			Global					Global					Global			Global		
	0,1			3,0					124,6					60,0			55,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N70°-90°E; 70°-85°SE	N20°-30°E; 80°-90°NW	N120°-130°E; 80°-90°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	-	16,0	-	1,8	3,5	-	-	230,8	124,4	-	-	-	30,0	80,0	60,0	110,0	50,0	15,0
Mínimo	Global			Global					Global					Global			Global		
	0,1			1,0					13,6					30,0			10,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N70°-90°E; 70°-85°SE	N20°-30°E; 80°-90°NW	N120°-130°E; 80°-90°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	-	12,0	-	1,0	3,0	-	-	200,8	61,0	-	-	-	30,0	60,0	30,0	70,0	30,0	10,0
Máximo	Global			Global					Global					Global			Global		
	18,0			6,5					260,9					130,0			130,0		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N70°-90°E; 70°-85°SE	N20°-30°E; 80°-90°NW	N120°-130°E; 80°-90°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	-	18,0	-	2,5	6,5	-	-	260,9	182,8	-	-	-	130,0	100,0	80,0	130,0	60,0	20,0
Desvio Padrão	Global			Global					Global					Global			Global		
	4,3			1,3					47,3					36,2			37,3		
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N70°-90°E; 70°-85°SE	N20°-30°E; 80°-90°NW	N120°-130°E; 80°-90°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,0	-	2,8	-	0,6	0,9	-	-	42,5	34,4	-	-	-	50,0	28,3	25,2	25,0	13,3	5,8

NA - Não Aplicável



Figura 203 – Aspecto do ensaio esclerométrico nas descontinuidades do Painel 7 e pormenor de descontinuidades próximas (F<sub>4-5</sub>), em maciço são a pouco alterado (W<sub>1-2</sub>).

Em termos globais foram registadas, nos diversos painéis, 216 estações geológicas, das quais se fará, seguidamente, uma síntese geral. Assim, o maciço granítico da área da Noninha, próximo às nascentes de S. Pedro das Meadinhas, encontra-se predominantemente medianamente alterado (W<sub>3</sub>) a são a pouco alterado (W<sub>1-2</sub>), tendo sido

registadas 69% de diaclases, 27,8% de falhas, e apenas 3,2% de estruturas filonianas (figura 204).

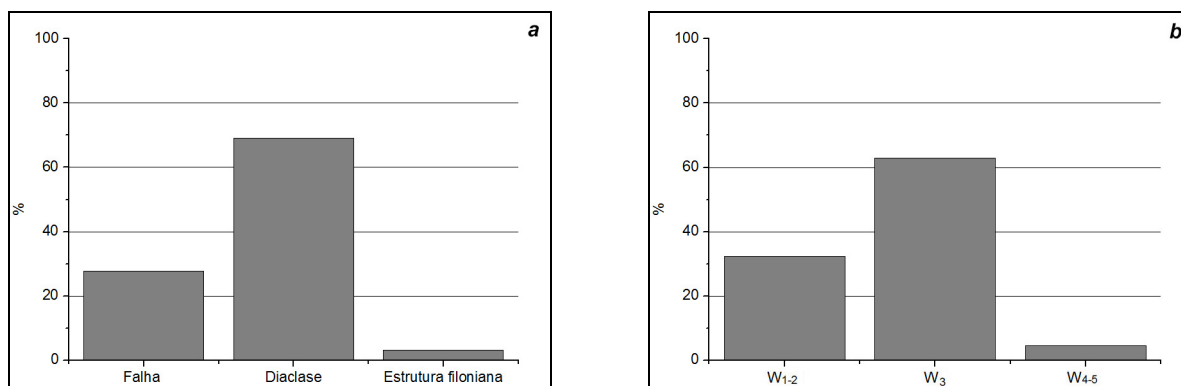


Figura 204 – Tipos de descontinuidade (a) e grau de alteração (b) para a globalidade das descontinuidades da área da Noninha.

O espaçamento médio relativo à totalidade das descontinuidades corresponde a 100,5 cm, sendo predominante a classe de espaçamento  $F_{1-2}$  (descontinuidades muito afastadas), com um valor médio para esta classe de 141 cm. Os valores registados nas classes  $F_3$  e  $F_{4-5}$ , 44,2 cm e 13,9 cm, apresentam influência notória no resultado médio global obtido. As descontinuidades registadas apresentam-se também, na sua esmagadora maioria (87%) fechadas (figura 205).

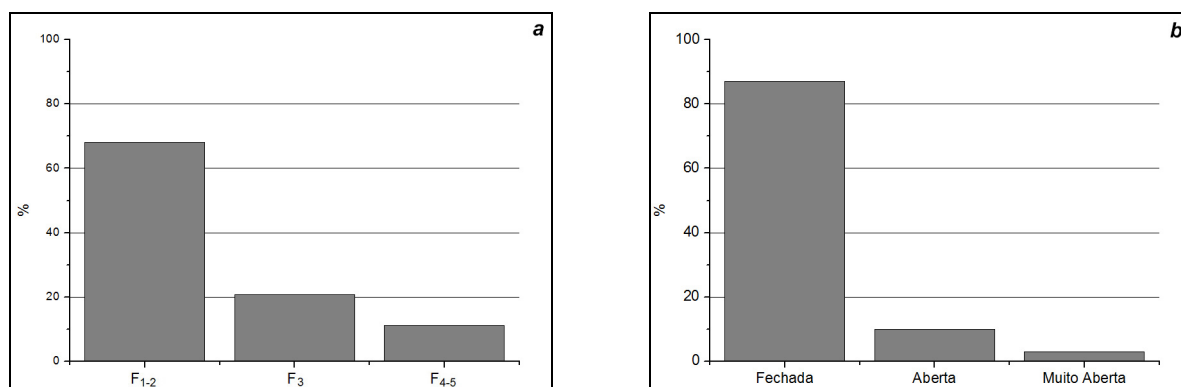


Figura 205 – Espaçamento médio (a) e abertura (b) das descontinuidades da área da Noninha.

As descontinuidades registadas apresentam-se em geral, pouco contínuas (60,2%) a muito pouco contínuas (39,4%), terminando, em geral, de forma obscura (66,2%). As terminações em rocha representam 33,3% (figura 206).

As descontinuidades registadas apresentam valores de curvatura baixos, sendo predominantes as descontinuidades planas a ligeiramente curvas (95,4%, figura 207). As

descontinuidades rugosas apresentam muito pouca representatividade (0,9%), tendo-se registado, 99,1% de descontinuidades lisas a algo rugosas.

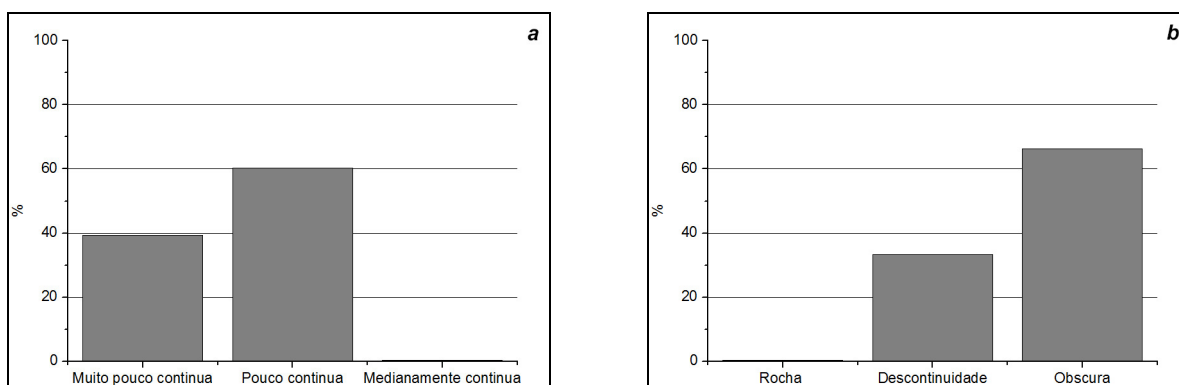


Figura 206 – Continuidade (a) e terminação (b) das das descontinuidades da área da Noninha.

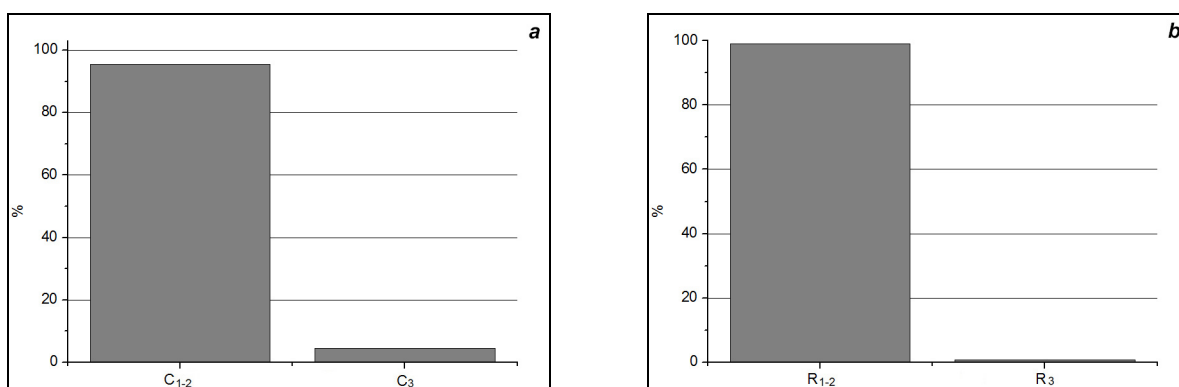


Figura 207 – Curvatura (a), rugosidade (b) das descontinuidades da área da Noninha.

Em termos globais, regista-se ainda que 80% das descontinuidades não apresenta enchimento, e quando este está presente, corresponde maioritariamente a rocha esmagada. Em termos de presença de água, esta não foi detectada na maioria das descontinuidades (94,4%); contudo esta foi registada em 4,6% das descontinuidades, e em 0,9% era mesmo gotejante (figura 208).

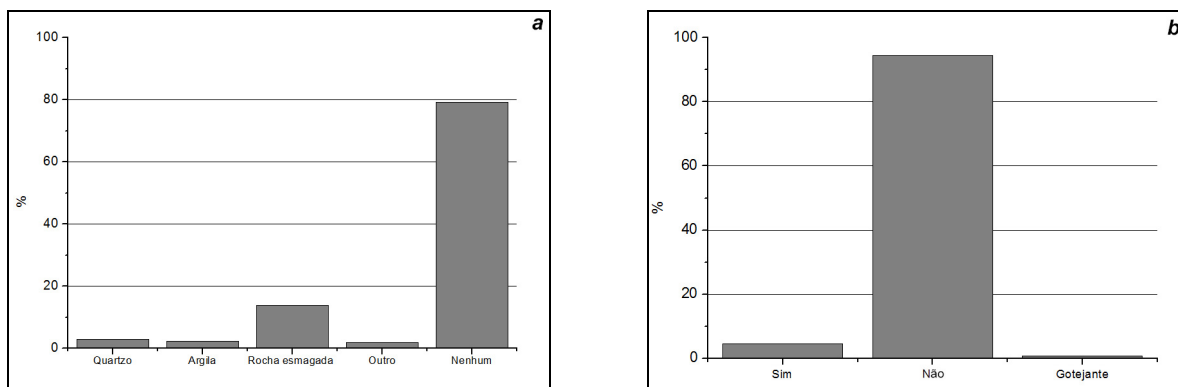


Figura 208 – Enchimento (a) e presença de água (b) nas descontinuidades da área da Noninha.

As descontinuidades apresentam uma direcção preferencial de N10°-20°E, com inclinações de 75°-90°NW (figura 209 e figura 210), com uma representatividade bastante maior que qualquer uma das outras direcções registadas. Esta família de descontinuidades apresenta um espaçamento médio de 115,6 cm. Na figura 209 apresenta-se a localização dos painéis de levantamento geológico-geotécnico e os diagramas de roseta relativos a cada um dos painéis que foram alvo de estudo.



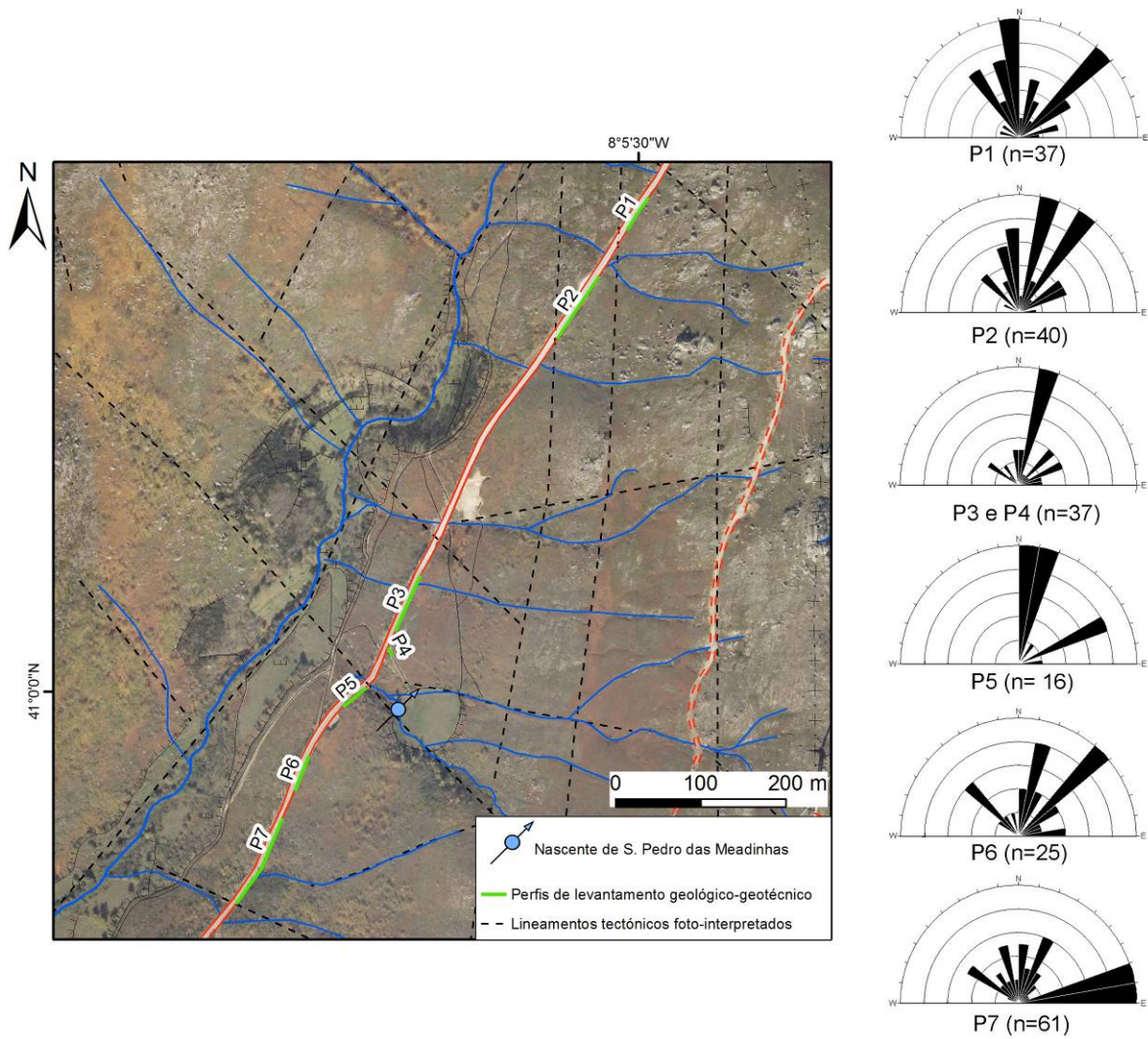


Figura 209 – Localização dos painéis de levantamento geológico-geotécnico na área da Noninha e diagramas de rosetas das discontinuidades.

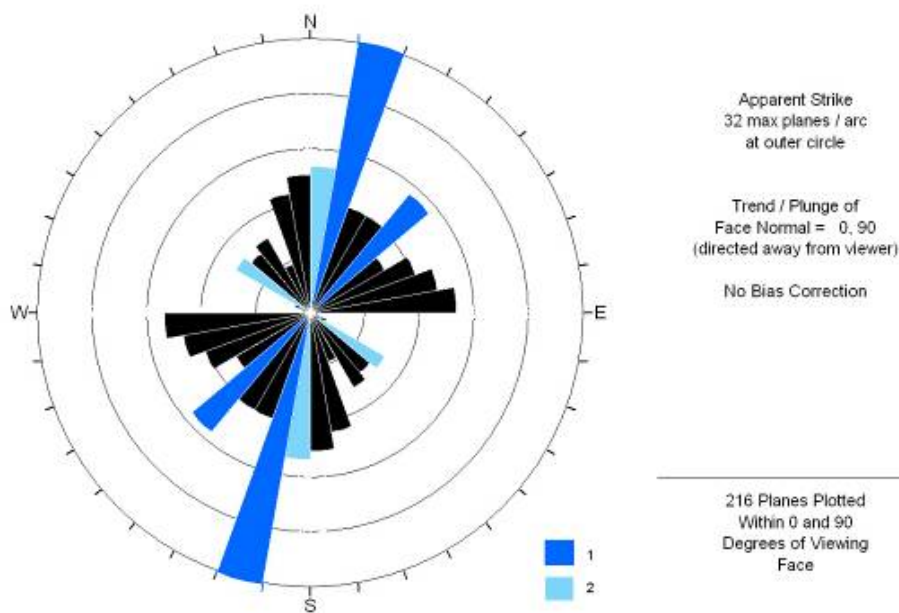


Figura 210 - Diagramas de rosetas e contorno estrutural relativos ao total de descontinuidades registadas na área da Noninha, com indicação das direcções das descontinuidades onde foi registada a presença de água (2) e de água gotejante (1).

De assinalar que as estruturas do tipo falha correspondem, na sua maioria, às direcções N160° a N180°E; N0°-30°E (figura 211), sub-paralelas aos principais acidentes indicados na caracterização geológica regional, nomeadamente à falha onde se instalou a Ribeira da Noninha.

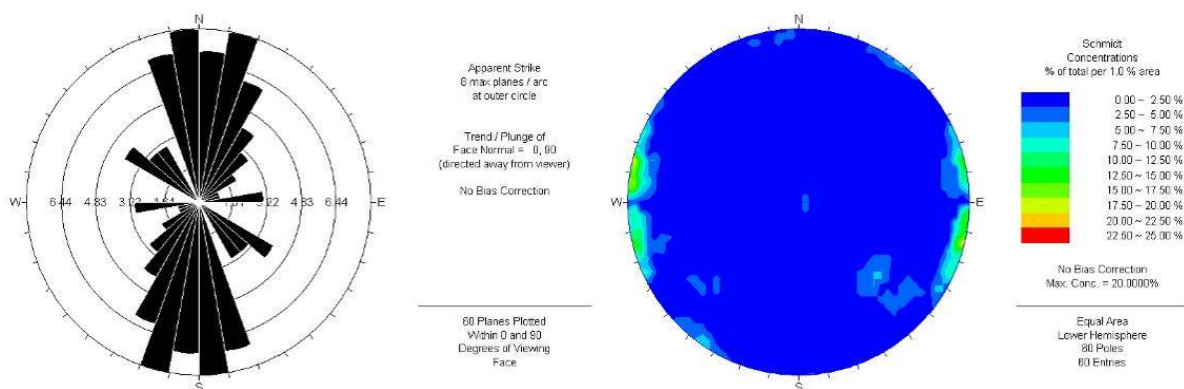


Figura 211 - Diagramas de rosetas e de contorno estrutural relativos à área da Noninha, para as estruturas do tipo falha.

---

Em termos gerais, o maciço granítico da área da Noninha apresenta valores de resistência à compressão uniaxial (Figura 212) predominantemente na classe  $S_2$  (resistência elevada, no intervalo 60 – 200 MPa), cujo valor médio se situa nos 116,4 MPa. As classes de resistência  $S_1$  e  $S_3$  apresentam valores médios de 248,3 MPa e 49 MPa, respectivamente. Globalmente, para todas as medições efectuadas, registou-se um valor médio de 121 MPa.

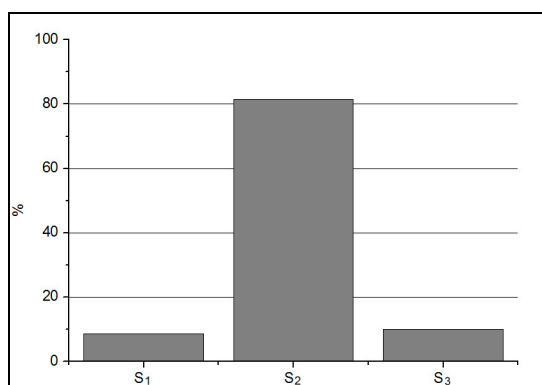


Figura 212 – Resistência à compressão uniaxial das discontinuidades da área da Noninha.

Os quadros 43 e 44 apresentam-se a síntese e o resumo estatístico dos parâmetros geológico-geotécnicos cartografados na área da Noninha. O quadro 45 apresenta uma síntese estatística idêntica às anteriormente apresentadas, mas tendo em conta apenas as discontinuidades onde foi registada a presença de água.

Quadro 43 - Síntese dos parâmetros geológicos e geomecânicos globais da área da Noninha.

NONINHA						
AFLORAMENTO	Global (Painéis 1/2/3/4/5/6/7)					
Litologia	Granito					
Grau de Alteração	W <sub>1-2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4-5</sub>			
	32.00%	<b>63.00%</b>	5.00%			
Grau de Fracturação						
<i>Tipo de descontinuidade</i>	Falha	Diaclase	Est. Filoniana			
	27.80%	<b>69.00%</b>	<b>3.20%</b>			
<i>Famílias principais</i>	N 10° - 20° E; 75° - 90° NW N 65° - 85° E; 65° - 85° SE N 40° - 50° E; 60° - 80°NW					
Abertura	Fe.	Ab.	M.A.			
	<b>87.00%</b>	8.00%	5.00%			
Espaçamento	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>			
	<b>68.00%</b>	21.00%	11.00%			
Continuidade	M.P.C.	P.C.	M.C.			
	-	40.00%	<b>60.00%</b>			
Terminação	R	D	O			
	-	34.00%	<b>66.00%</b>			
Curvatura	C <sub>1-2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4-5</sub>			
	<b>95.00%</b>	5.00%	-			
Rugosidade	R <sub>1-2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4-5</sub>			
	<b>99.00%</b>	1.00%	-			
Enchimento	Arg.	Qua.	R. Esm.	Out.	Nen.	
	2.00%	3.00%	14.00%	2.00%	<b>79.00%</b>	
Presença de água	Não		Sim	Gotejante		
	<b>94.00%</b>		5.00%	1.00%		
Resistência à compressão	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	
<i>Descontinuidades</i>	8.60%	<b>81.40%</b>	10.00%	-	-	

C <sub>1-2</sub>	Planas a ligeiramente curvas
C <sub>3</sub>	Curvas
C <sub>4-5</sub>	Muito curvas
R <sub>1-2</sub>	Lisas a algo rugosas
R <sub>3</sub>	Medianamente rugosas
R <sub>4-5</sub>	Muito rugosas
Qua.	Quartzo
Arg.	Argila
R. Esm.	Rocha esmagada
Out.	Outro
Nen.	Nenhum
S <sub>1</sub>	Resistência muito elevada
S <sub>2</sub>	Resistência elevada
S <sub>3</sub>	Resistência média
S <sub>4</sub>	Resistência baixa
S <sub>5</sub>	Resistência muito baixa

Fe.	Fechada	M.P.C.	Muito pouco contínua
Ab.	Aberta	P.C.	Pouco contínua
M.A.	Muito aberta	M.C.	Medianamente contínua
F <sub>1-2</sub>	Muito afastadas a afastadas	R	Rocha
F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas	D	Descontinuidade
F <sub>4-5</sub>	Próximas a muito próximas	O	Obscura

(parâmetros geotécnicos segundo ISRM, 1978, 1981, 2007).

Quadro 44 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos da globalidade das descontinuidades da área da Noninha.

Noninha (Painel Global)																			
	Abertura (mm)			Continuidade (m)				Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Espaçamento médio por famílias (cm)			Grau de Fracturação (cm)			
	Valor médio global			Valor médio global				Valor médio global					Valor médio global			Valor médio global			
Média	1,2			3,1				121,0					109,3			100,5			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°NW	N65°-85°E; 65°-85°SE	N40°-50°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	5,2	15,9	-	1,6	4,0	12,0	-	248,3	116,4	49,0	-	-	115,6	88,3	125,0	141,0	44,2	13,9
Moda	Global			Global				Global					Global			Global			
	0,1			3,0				92,0					80,0			50,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°NW	N65°-85°E; 65°-85°SE	N40°-50°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Mediana	Global			Global				Global					Global			Global			
	0,1			3,0				63,0					100,0			90,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°NW	N65°-85°E; 65°-85°SE	N40°-50°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Mínimo	Global			Global				Global					Global			Global			
	0,1			1,0				39,7					10,0			10,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°NW	N65°-85°E; 65°-85°SE	N40°-50°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Máximo	Global			Global				Global					Global			Global			
	18,0			12,0				354,9					240,0			250,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°NW	N65°-85°E; 65°-85°SE	N40°-50°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Desvio Padrão	Global			Global				Global					Global			Global			
	3,7			1,7				55,1					62,7			66,2			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°NW	N65°-85°E; 65°-85°SE	N40°-50°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,0	3,5	2,1	-	0,6	1,3	NA	-	56,7	32,3	6,0	-	-	69,5	44,7	62,5	51,7	9,7	5,0

NA - Não Aplicável

Quadro 45 - Resumo estatístico dos principais parâmetros geológicos e geomecânicos da globalidade das descontinuidades da área da Noninha onde foi registada a presença de água.

Noninha (Painel Global_Água)																			
	Abertura (mm)			Continuidade (m)				Resistência - Descontinuidades (Mpa)					Espaçamento médio por famílias (cm)			Grau de Fracturação (cm)			
	Valor médio global			Valor médio global				Valor médio global					Valor médio global			Valor médio global			
Média	0,3			4,5				99,0					45,0			40,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°SW	N40°-50°E; 60°-80°NW	N120°-130°E; 80°-90°NE	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,1	1,5	-	-	-	4,5	-	-	-	115,7	80,0	-	-	13,3	0,0	140,0	140,0	-	15,0
Moda	Global			Global				Global					Global			Global			
	0,1			4,0				NA					10,0			NA			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°NW	N65°-85°E; 65°-85°SE	N40°-50°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Mediana	Global			Global				Global					Global			Global			
	0,1			4,0				80,0					15,0			20,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°NW	N65°-85°E; 65°-85°SE	N40°-50°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Mínimo	Global			Global				Global					Global			Global			
	0,1			3,0				48,8					10,0			10,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°NW	N65°-85°E; 65°-85°SE	N40°-50°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Máximo	Global			Global				Global					Global			Global			
	1,5			9,0				187,1					140,0			140,0			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°NW	N65°-85°E; 65°-85°SE	N40°-50°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
Desvio Padrão	Global			Global				Global					Global			Global			
	0,6			1,1				62,1					63,5			56,1			
	Fechada	Aberta	Muito Aberta	<1	1-3	3-10	10-20	>20	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	N10°-20°E; 70°-90°NW	N65°-85°E; 65°-85°SE	N40°-50°E; 60°-80°NW	F <sub>1-2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4-5</sub>
	0,0	0,0	-	-	-	1,1	-	-	64,1	NA	-	-	-	5,8	NA	NA	NA	-	5,8

NA - Não Aplicável

Para a caracterização do maciço à escala cartográfica, procedeu-se, numa primeira fase, à identificação das áreas de afloramentos rochosos, através de critérios fotogeológicos e geomorfológicos, com recurso a fotografias aéreas, ortofotomapas e imagens de satélite de alta resolução. A confirmação dos limites destas áreas, bem como a caracterização mais apurada do seu grau de alteração foi realizada com recurso a trabalho de campo. Foram também cruzados os dados do levantamento geológico-geomecânico descrito anteriormente. Assim, foi identificada uma série de áreas de afloramentos rochosos, que apresentam formas e representatividades diferentes (figura 213).

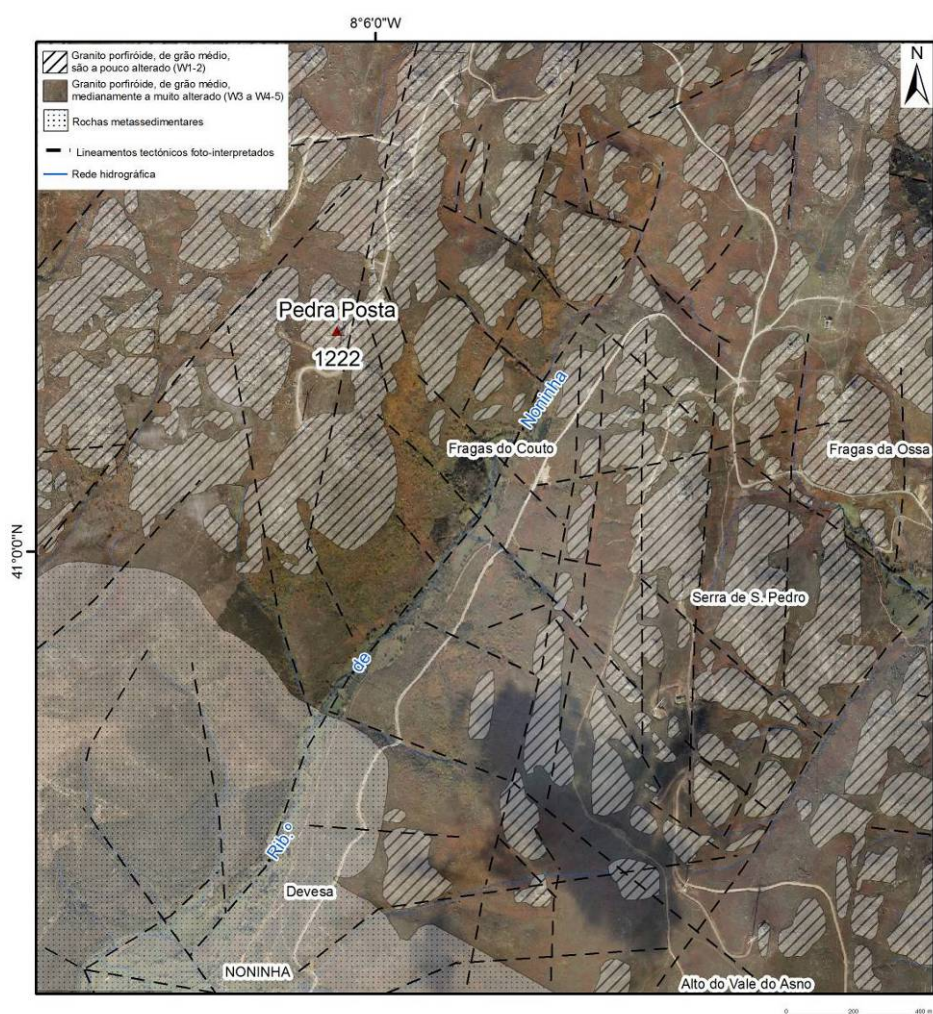


Figura 213 – Afloramentos rochosos de rocha granítica, na área da Noninha, identificados através de critérios fotogeológicos e geomorfológicos.

As áreas do topo da Serra de S. Pedro e do alto da Pedra Posta correspondem às áreas onde surgem afloramentos de maior dimensão. No entanto, os condicionalismos da rede de fracturação aparentam ter um maior reflexo na distribuição destas áreas, que se apresentam alinhadas em corredores de direcção aproximada N-S, e que condicionam de forma decisiva a morfologia da Serra de S. Pedro. No alto da Pedra Posta, os afloramentos rochosos

apresentam-se mais contínuos e menos condicionados pela fracturação. Nas áreas a Norte de Fragas da Ossa e de Fragas do Couto os afloramentos rochosos apresentam uma menor densidade, estando grande parte da área ocupada por solo orgânico coberto por uma vegetação rasteira (que por vezes se assemelha a uma “turfeira”) recobrando o granito, por vezes muito alterado a arenizado.

Assim, a sistematização cartográfica da litologia e grau de alteração permitiu identificar dois grupos principais, no seio do maciço granítico (figura 214): i) o primeiro grupo corresponde ao granito são a ligeiramente alterado ( $W_{1-2}$ ), que ocorre nas áreas de maior altitude, nomeadamente nos topos e vertentes da Serra de S. Pedro e do alto da Pedra Posta. É uma unidade de importância fulcral na definição do relevo da área, como se viu a propósito das condições geomorfológicas da área; ii) o segundo grupo corresponde às áreas de granito medianamente alterado a muito alterado ( $W_3$  a  $W_{4-5}$ ), que envolvem as áreas de granito menos alterado. Como se viu a propósito da caracterização geológica local, a profundidade da alteração da rocha granítica poderá atingir, em certos locais, profundidades de 15 a 20 m. A transição para as rochas metassedimentares, na área a SW, é marcada também por uma mudança na morfologia, estando estas rochas localizadas em áreas de menor altitude que as das rochas graníticas.

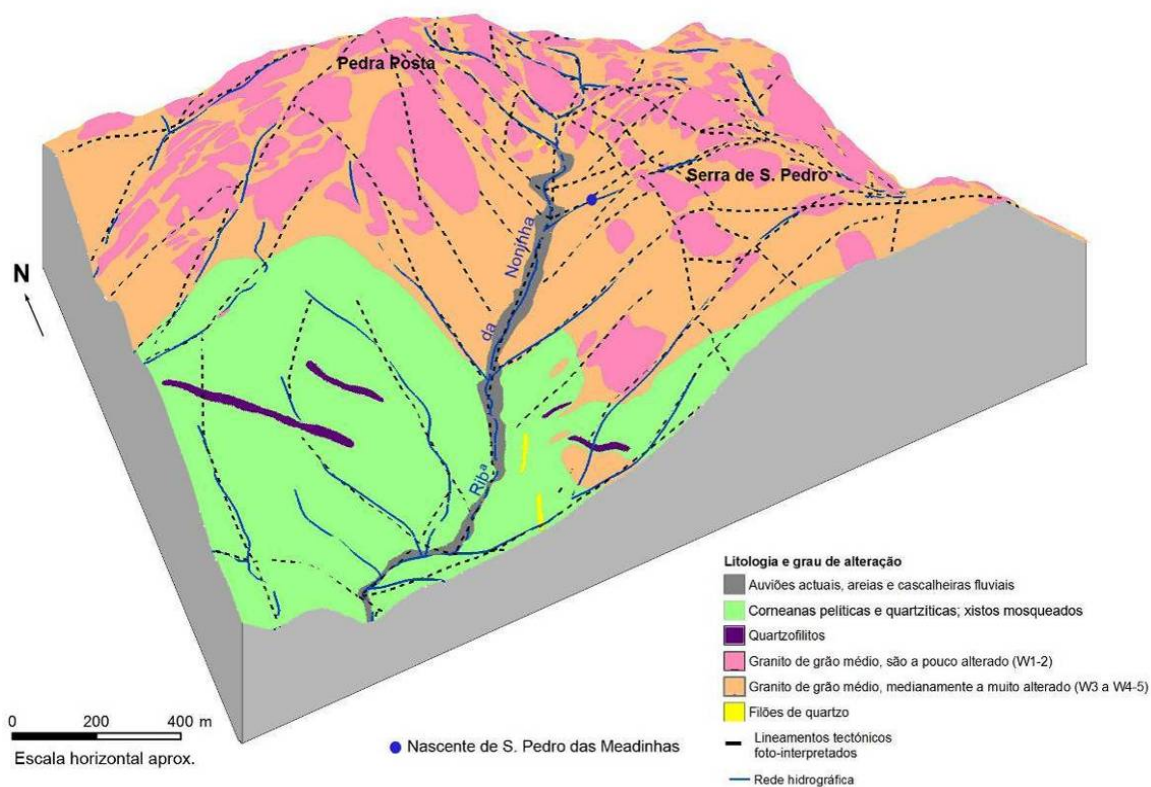


Figura 214 - Perspectiva 3D da litologia, estrutura e grau de alteração do maciço da área da Noninha.

As principais direcções de fracturação do maciço são, no geral, concordantes, quando analisadas as várias escalas de trabalho (figura 215). Destacam-se, claramente, várias famílias de fracturas, com importâncias diferentes, conforme a escala de análise. As direcções mais próximas da que foi identificada, à escala do afloramento rochoso ( $N0^{\circ} - 20^{\circ} E$ ) apresentam-se como uma das famílias secundárias, à escala cartográfica. No entanto, esta é uma das direcções importantes na estruturação do relevo e do maciço na área da Serra de S. Pedro (cf. figura 210). Em termos de continuidade, a família de direcção aproximada NE-SW apresenta-se como a mais importante à escala cartográfica, tendo a sua maior expressão morfológica no vale da Ribeira da Noninha. Em grande número, mas com pouca continuidade espacial, surgem fracturas de direcção aproximada E-W e NW-SE. Estas poderão ser importantes ao nível local, nomeadamente quanto ao controlo da circulação subterrânea na área junto à nascente de S. Pedro das Meadinhos.

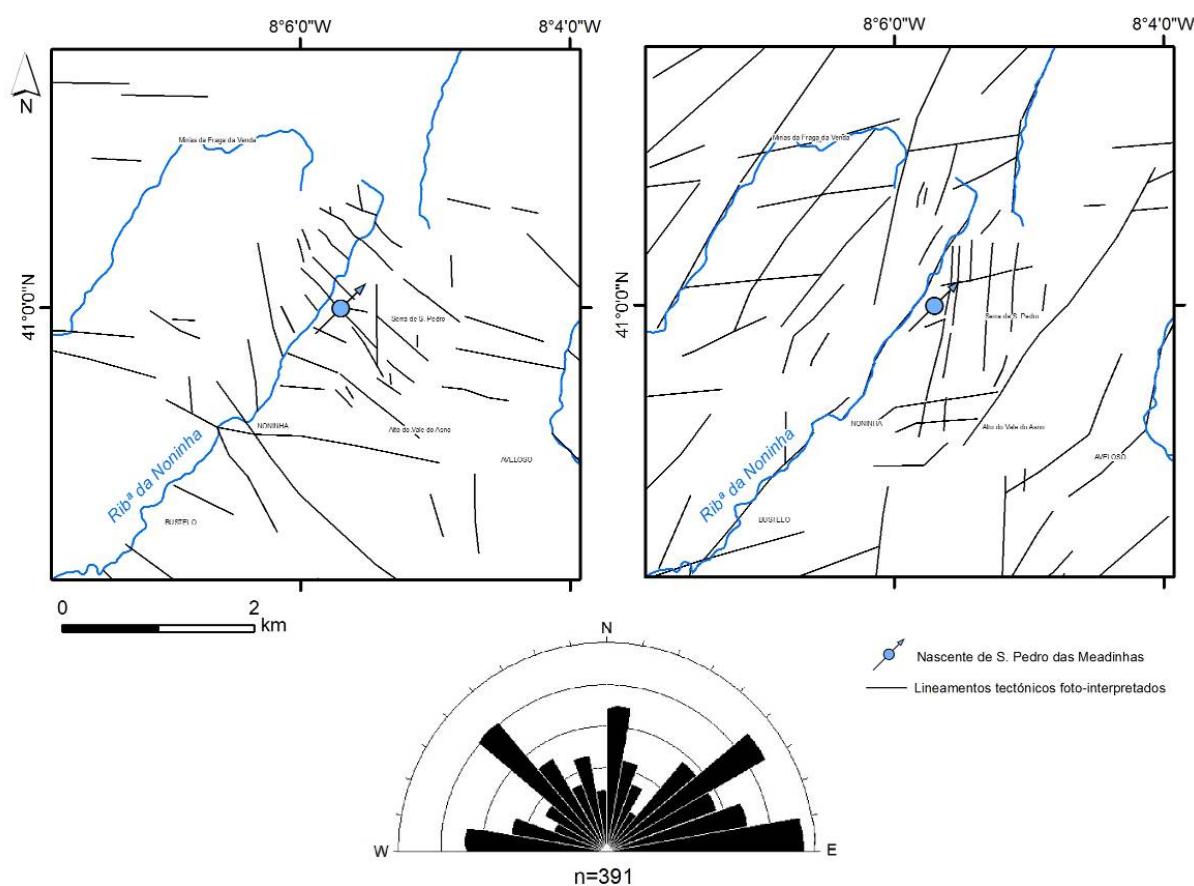


Figura 215 - Lineamentos tectónicos na área da Noninha para os quadrantes Noroeste (a) e Nordeste (b).



---

#### **5.4.6. Condições hidrogeológicas**

##### **5.4.6.1. O inventário hidrogeológico**

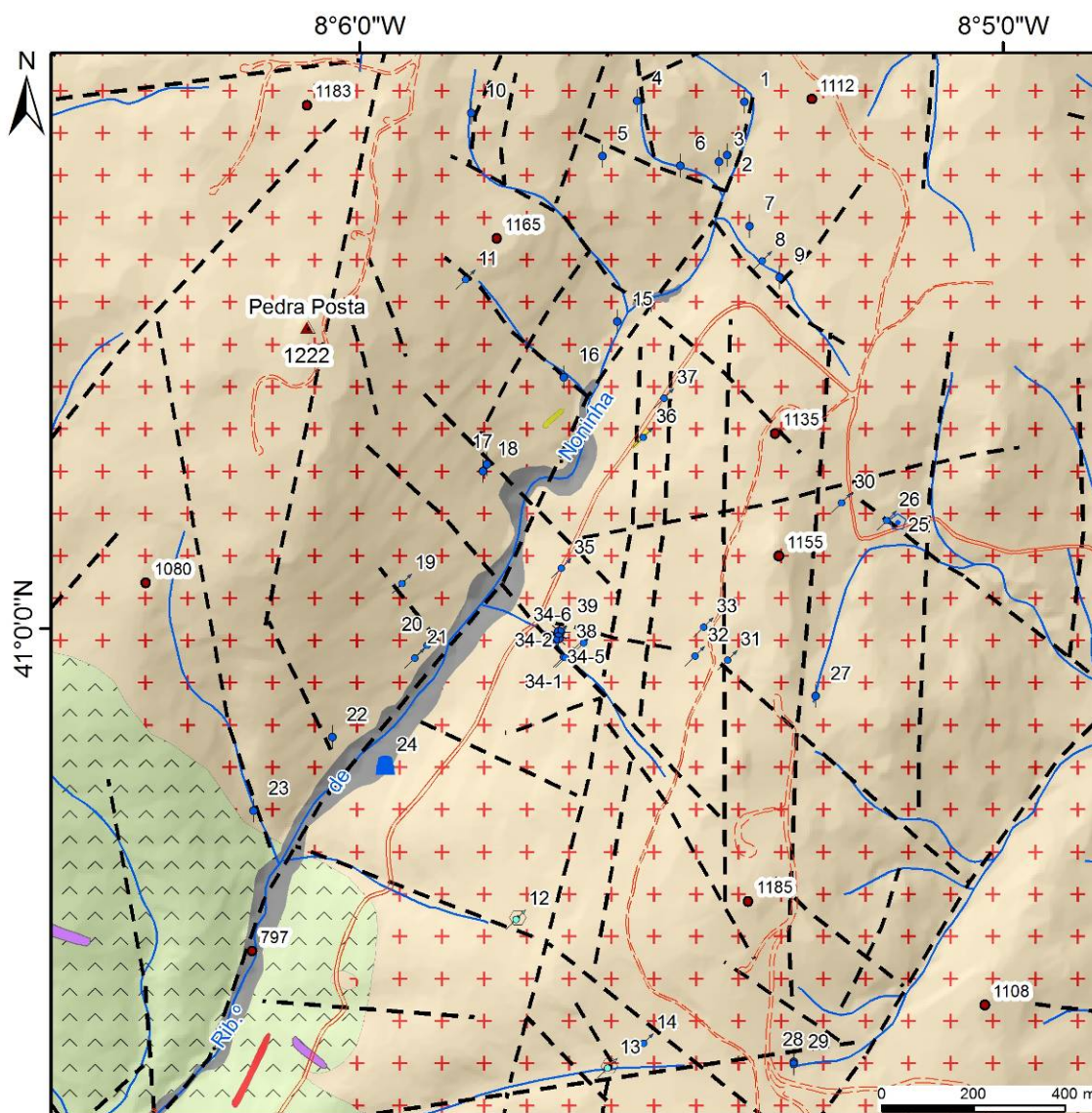
O inventário hidrogeológico ora apresentado foi essencialmente realizado ao longo da campanha de terreno que decorreu em Abril e Maio de 2008. Foram inventariados 37 pontos de água (figura 216) durante a campanha de campo e muitos destes pontos foram revisitados em campanhas posteriores no período entre 2009 e 2011. Foram ainda acrescentados ao inventário os resultados dos dois furos de captação de água entretanto realizados junto à Nascente de S. Pedro das Meadinhas, o que totaliza 39 pontos relevantes.

O inventário na área envolvente à antiga nascente de S. Pedro das Meadinhas incidiu sobretudo nos seguintes pontos de água ou estruturas hidráulicas, a saber:

- ✓ Nascentes de água;
- ✓ Minas de água;
- ✓ Furos;
- ✓ Arranjos de nascente;
- ✓ Águas superficiais: ribeiras, linhas de água secundárias.

A figura 217 apresenta alguns dos aspectos principais inventariados durante a campanha de campo realizada na área da Noninha.

As condutividades eléctricas registadas nos pontos de água inventariados são muito baixas, nunca ultrapassando os  $25 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , o que denuncia, conforme se verá a propósito da caracterização hidroquímica, a provável existência de mineralizações muito baixas. Os valores de pH são também relativamente baixos, variando entre 4,9 e 6,5. As temperaturas são também elas baixas, situando-se no intervalo  $9,6^\circ - 16,3^\circ\text{C}$  (cf. quadro 46).



Adaptado de: Carta Geológica de Portugal, 1/50.000, folha 14-A Lamego, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa

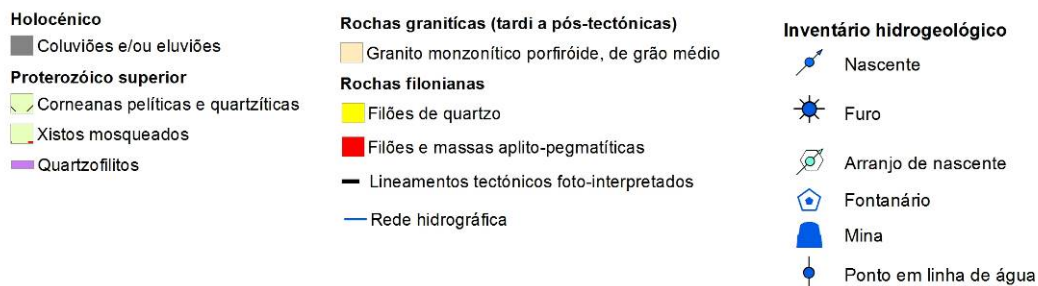


Figura 216 – Inventário hidrogeológico da área da Noninha.



Figura 217 – Aspectos do inventário hidrogeológico da área da Noninha.  
a) Aspecto da georreferenciação de uma ocorrência de água no grupo de nascentes designado por Nascentes de S. Pedro das Meadilhas (PI34); b) Fonte de S. Pedro (PI25); c) Aspecto de nascente e charca no topo da Serra de S. Pedro (PI30); d) Aspecto da nascente do Caminho do Vale do Asno (PI32); e) Aspecto dos furos horizontais realizados junto às antigas nascentes de S. Pedro das Meadilhas.

Quadro 46 - Quadro resumo dos pontos de água inventariados durante a campanha de campo (cf. anexo 6)

Nº Ponto	Designação	Data	Hora	Cota (m)	pH	Cond. Eléctrica (µs/cm)	Temp. Água (°C)	Temp. Ar (°C)	Humidade Relativa (%)
1	Nascente Ribeiro Noninha 1	24-04-2008	11:20	1099,3	5,1	7	10,1	23,8	51,5
2	Nascente Marg. Dir. Ribeiro Noninha 1	24-04-2008	11:30	1089	5,4	13	9,8	24,4	48,2
3	Nascente Marg. Dir. Ribeiro Noninha 2	24-04-2008	11:40	1086,4	5,4	13	10,8	23,5	51,2
4	Nascente Ribeiro Noninha 2	24-04-2008	11:50	1124,3	5,5	14	11,1	22,2	47,5
5	Nascente Ribeiro Noninha 3	24-04-2008	12:00	1128,6	5,4	12	16,2	22,9	53,9
6	Nascente Ribeiro Noninha 4	24-04-2008	12:05	1103,5	5,6	8	14,4	25,9	43,8
7	Nascente Marg Esq. Ribeiro Noninha	24-04-2008	12:15	1083,8	5,5	12	12,3	26,0	41,7
8	Nascente Ribeiro Noninha 5	24-04-2008	12:25	1079,2	5,0	13	11,0	26,4	44,7
9	Nascente Ribeiro Noninha 6	24-04-2008	13:30	1079,5	5,7	10	12,0	26,4	43,4
10	Ribeiro 1	24-04-2008	15:00	1167,9	5,3	13	10,5	27,6	39,2
11	Nascente Ribeirinha	24-04-2008	15:20	1153,9	5,7	10	15,3	27,4	39,4
12	Nascente da Urzela (Aldeia)	24-04-2008	16:00	1044,7	5,3	14	11,2	29,9	49,4
13	Nascente Berceiro 2 (Principal)	24-04-2008	17:30	1082,3	5,7	12	12,9	26,8	48,3
14	Nascente Berceiro 1	24-04-2008	17:50	1106,3	4,9	15	11,1	26,4	50,5
15	Ribeiro da Noninha	29-04-2008	09:35	1037,6	6,0	9	9,7	8,0	57,5
16	Nascente Ribeiro Noninha 7	29-04-2008	09:45	1038,9	6,0	9	10,2	8,0	81,0
17	Nascente Ribeiro Noninha 8	29-04-2008	10:05	1017,9	6,4	11	10,5	6,3	89,9
18	Nascente Ribeiro Noninha 9	29-04-2008	13:30	1017,0	5,6	11	11,5	7,0	83,1
19	Nascente Ribeiro 1	29-04-2008	10:45	1002,3	6,8	11	11,6	6,8	85,4
20	Nascente Ribeiro 2	29-04-2008	11:00	937,9	6,5	11	11,0	8,0	85,5
21	Nascente Ribeiro 3	29-04-2008	11:05	932,6	6,8	11	10,4	6,9	83,9
22	Ribeiro 2	29-04-2008	11:20	892,1	5,8	12	12,1	6,8	90,0
23	Ribeiro 3	30-04-2008	11:30	867,3	6,1	13	11,0	8,3	85,8
24	Mina Sr. Octávio	30-04-2008	09:50	892,8	6,8	15	10,8	15,0	60,0
25	Fonte S. Pedro	30-04-2008	10:30	1078	5,4	13	10,0	13,5	61,0
26	Nascente Fonte S. Pedro	30-04-2008	10:45	1081,4	5,7	10	9,6	13,0	63,7
27	Nascente Rib. Aveloso	30-04-2008	10:55	1126	5,6	10	10,3	13,5	55,2
28	Nascente Aveloso 1	30-04-2008	11:05	1126,5	5,2	19	10,3	13,3	60,4
29	Nascente Aveloso 2	30-04-2008	11:10	1127,2	5,1	17	9,9	13,1	61,4
30	Nascente S. Pedro 2	30-04-2008	11:30	1098,7	5,3	5	10,6	13,9	55,3
31	Nascente Rib. Meadinhas	30-04-2008	11:50	1116,6	5,1	9	10,3	13,4	59,4
32	Nascente Caminho Vale do Asno 1	30-04-2008	14:45	1098	5,2	15	10,6	15,7	51,4
33	Nascente Caminho Vale do Asno 2	30-04-2008	15:00	1105,1	5,5	19	11,1	14,9	56,6
34-1	Nascente S. Pedro das Meadinhas (1)	19-05-2008	14:05	1016,1	5,3	17	10,5	18,1	59,0
34-2	Nascente S. Pedro das Meadinhas (2)	19-05-2008	14:15	1017,6	6,8	25	10,6	17,5	58,2
34-3	Nascente S. Pedro das Meadinhas (3)	19-05-2008	14:35	1031,6	6,2	15	10,8	17,8	63,9
34-4	Nascente S. Pedro das Meadinhas (4)	19-05-2008	14:45	1031,4	6,5	13	10,8	18,3	56,8
34-5	Nascente S. Pedro das Meadinhas (5)	19-05-2008	14:55	1007,6	5,8	13	10,3	20,1	53,8
34-6	Nascente S. Pedro das Meadinhas (6)	19-05-2008	15:05	1008,0	5,5	13	10,6	20,6	56,5
35	Nascente Estrada	19-05-2008	15:00	1008,2	5,4	11	11,2	21,4	52,6
36	Nascente Estrada 2	19-05-2008	15:50	1063,8	6,4	11	13	21,4	50
37	Nascente Estrada 3	19-05-2008	16:00	1071,9	6	8	12,5	21	50
38	FH1	17-05-2009	15:40	1007,1	5,4	21	11	-	-
39	FH1	17-05-2009	15:50	1007,2	5,23	17	10,5	-	-

Os pontos de água inventariados situam-se maioritariamente a cotas superiores a 900 m (perfis 1 e 2, figura 219), na vertente da margem esquerda da Ribeira da Noninha. A nascente (da Urzela) que abastece a aldeia da Noninha localiza-se também nesta vertente, numa fractura de atitude aproximada N10°W-80°NE (figura 218), de onde brota a água que é conduzida, por gravidade, através de um tubo de 3" até à aldeia da Noninha. No entanto, ressalta claramente o facto de os pontos de água inventariados se concentrarem exclusivamente nas rochas graníticas. A este facto não será alheio o espesso horizonte de alterito granítico ( $W_{4-5}$ ), que pode atingir espessuras, pelo menos, da ordem das duas dezenas de metros, e que desempenha, por certo, um importante papel na quantidade de água armazenada no sub-sistema aquífero mais superficial, fazendo depois a sua cedência ao sub-sistema aquífero profundo sempre que haja condições estruturais favoráveis.



Figura 218 – Aspecto da amostragem de água para análise físico-química e da fractura de atitude aproximada N10°W-80°NE, na Nascente da Urzela (PI12, cf. quadro 32).

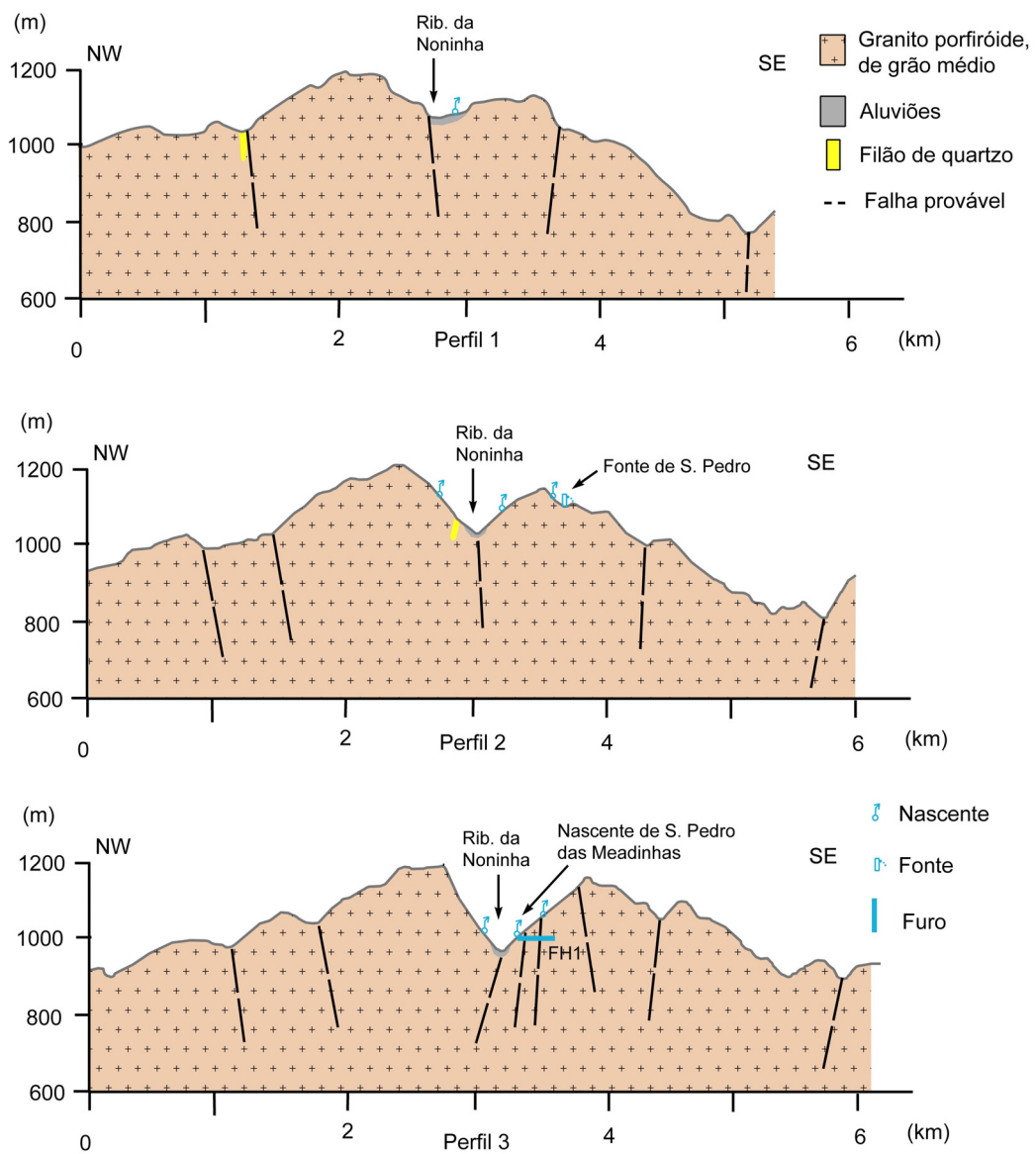


Figura 219 – Perfis geológicos sequenciais da área da Serra de S. Pedro (cf. localização dos perfis na figura 160).  
(sobre-elevação vertical: 3 vezes a escala horizontal).

Em termos espaciais, a ocorrência dos pontos de água inventariados (figura 220) aparenta estar fortemente relacionada com os lineamentos tectónicos registados, à escala local, na área da Serra de S. Pedro. Este condicionamento é ainda mais evidente quando se tomam em consideração as direcções do quadrante NE, sobretudo na região mais próxima à área da nascente de S. Pedro das Meadinhas. É de assinalar ainda que praticamente todos os pontos de água se encontram muito próximos dos lineamentos tectónicos, concentrando-se sobretudo nas áreas mais próximas do fundo do vale. Regista-se também a elevada concentração de pontos de água junto da referida nascente de S. Pedro das Meadinhas. De facto, a grande concentração de emergências foi visível durante a fase de inventário hidrogeológico (cf. quadro 46), tendo-se registado neste grupo de nascentes, 6 emergências.

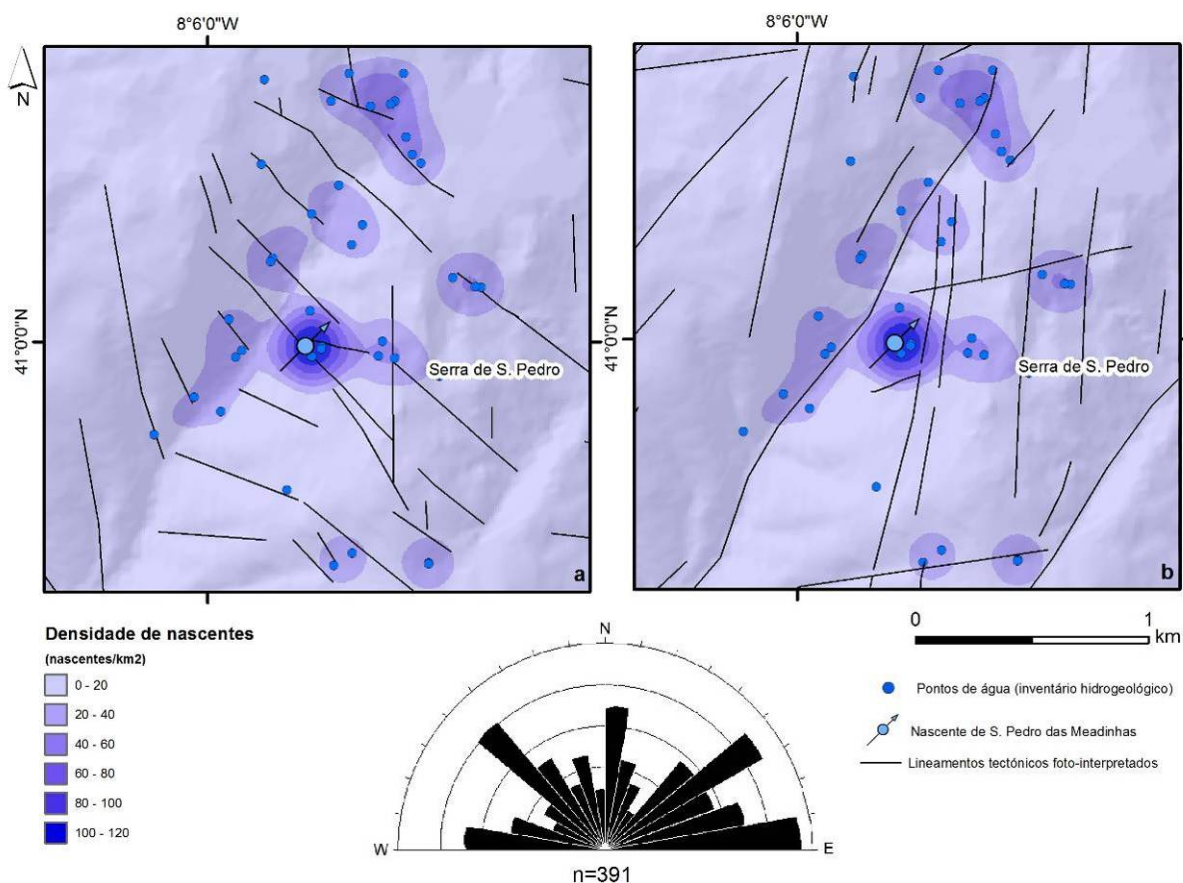


Figura 220 - Lineamentos tectónicos do quadrante NW (a) e do quadrante NE (b), e densidade de pontos de água (inventário hidrogeológico) da área envolvente à nascente de S. Pedro das Meadinhas.

Na área envolvente à antiga nascente de S. Pedro das Meadinhas, foi realizada também uma espacialização dos dados relativos aos parâmetros hidrogeológicos medidos no campo (pH, condutividade eléctrica e temperatura), em ambiente SIG, recorrendo ao método de

interpolação IDW (“Inverse Distance Weight”), em que os pontos mais próximos assumem maior importância na estimativa do valor final, cujos resultados se apresentam na figura 221. A espacialização dos dados revela um contraste espacial interessante, no que diz respeito à distribuição espacial dos valores de pH. Assim, os valores mais baixos parecem estar associados à rocha granítica da Serra de S. Pedro, apresentando uma tendência de aumento em direcção ao extremo SW da área, à medida que os pontos de água se aproximam das rochas metassedimentares. Os valores de condutividade eléctrica, sempre muito baixos, apresentam uma variação espacial pouco nítida, mas com tendência aparente de aumento em direcção a Sul. Todavia, esta abordagem terá de ser encarada como meramente indicativa das tendências locais dos parâmetros hidrogeológicos medidos no campo e não deverá ser realizado qualquer tipo de extrapolação regional. As temperaturas aparentam também valores muito baixos ( $< 17^{\circ}\text{C}$ ), parecendo ser mais baixas na margem esquerda da Ribeira da Noninha, na Serra de S. Pedro.

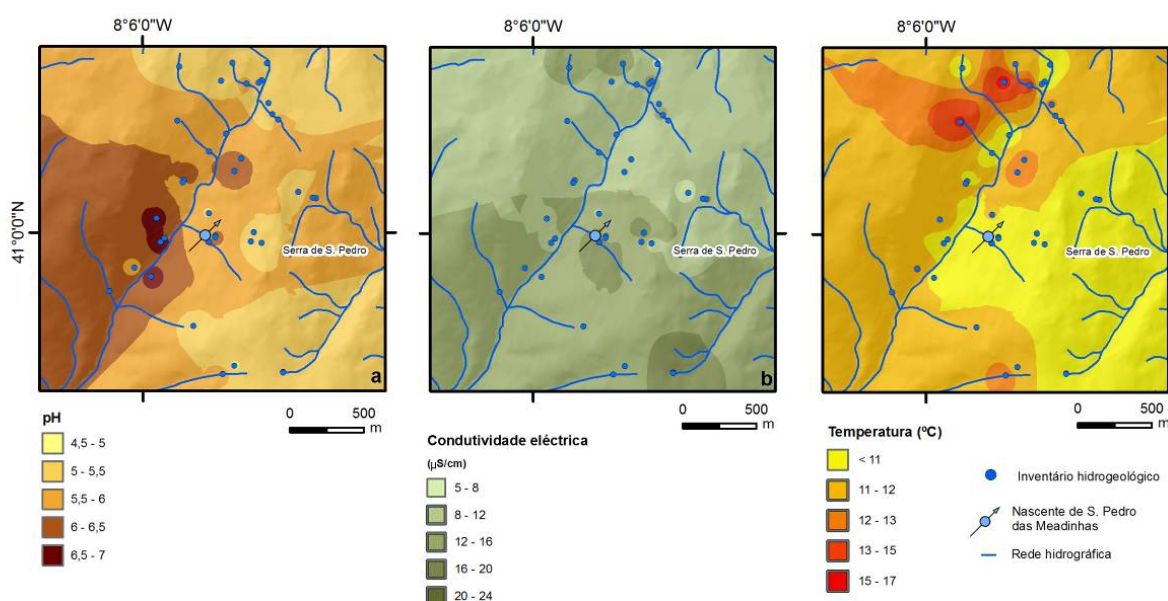


Figura 221 - Espacialização do pH, condutividade eléctrica e temperatura na área da nascente de S. Pedro das Meadilhas.

Em 2009 foram projectados e realizados, junto das antigas nascentes de S. Pedro das Meadilhas dois furos sub-horizontais (com mergulho de  $5^{\circ}$ ) e azimutes de  $N160^{\circ}\text{E}$  e  $N90^{\circ}\text{E}$  (figura 222), cujos trabalhos foram acompanhados de perto pelo signatário desta dissertação. Os aspectos construtivos e os dados da perfuração que se apresentam na figura 225 e na figura 226 foram de grande importância no refinamento do modelo hidrogeológico conceptual da área, e por isso aqui se incluem (sob autorização das

empresas JAPP, Lda e TARH, Lda, e ainda do LABCARGA|ISEP). No perfil 3 da figura 219 apresenta-se o esquema construtivo geral, usando como exemplo o furo FH1, e na planta da figura 222 a sua localização de pormenor.

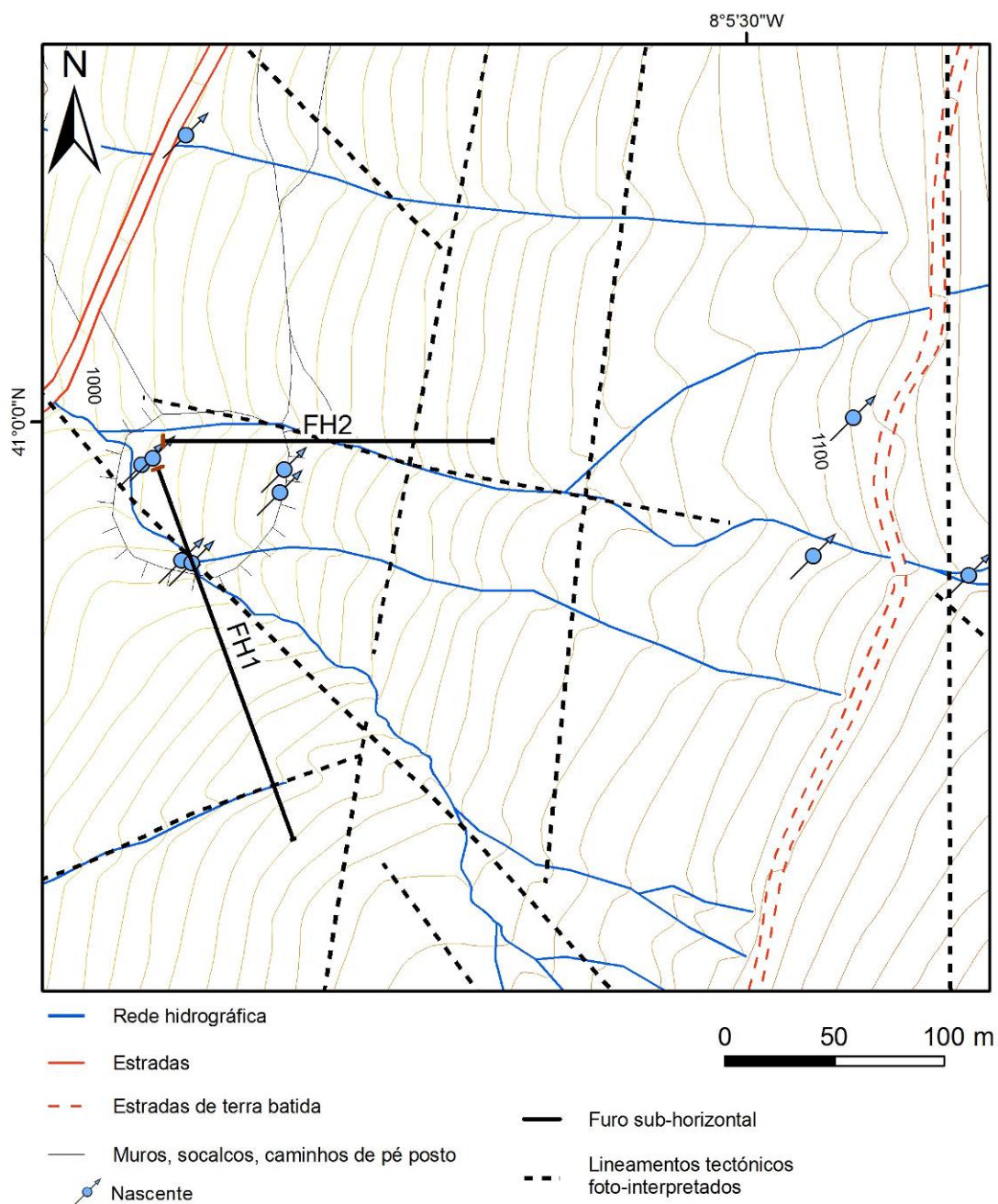


Figura 222 – Localização pormenorizada dos furos sub-horizontais, junto à antiga nascente de S. Pedro das Meadinhãs.



---

As amostras (“cuttings”) recolhidas de 3 em 3 m durante a perfuração destrutiva foram minuciosamente analisadas no Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Estas amostras foram alvo de uma caracterização macroscópica tendo sido observadas em lupa binocular com ampliação de 10x e 30x e, sistematicamente, fotografadas para apoiar a sua caracterização geológica (figura 223 e figura 224). Este estudo permitiu a reconstituição litológica e estrutural, bem como a definição, com maior rigor, do grau de alteração e a mineralogia do material-rocha nas diferentes fases de perfuração (figura 225 e figura 226).



Figura 223 – Aspecto das amostras de FH2 logo após o final da furação (esquerda) e aspecto de amostra de zona fracturada em FH1 (direita).

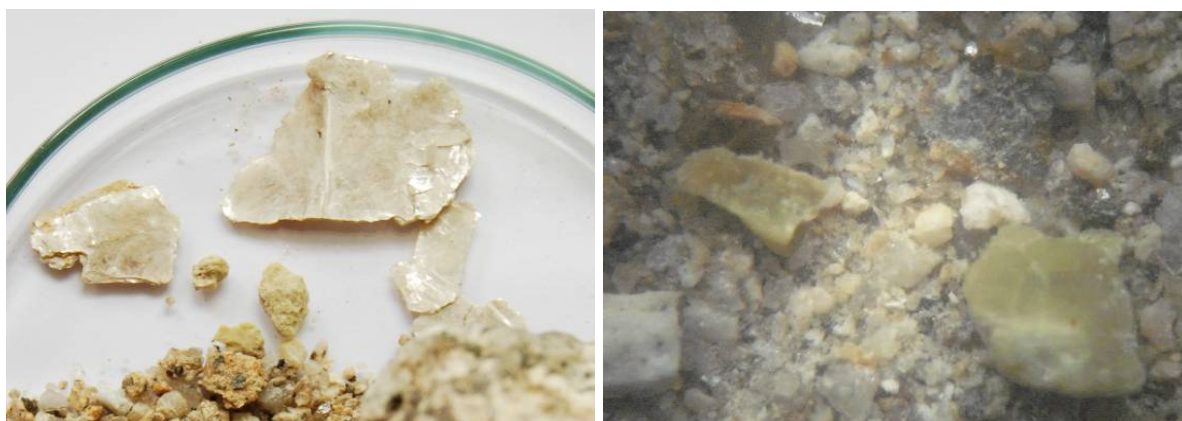


Figura 224 – Aspecto de amostra de cristais de moscovite em FH2 (esquerda) e aspecto de possíveis cristais de clorite, vistos à lupa binocular com ampliação de 10x (direita).

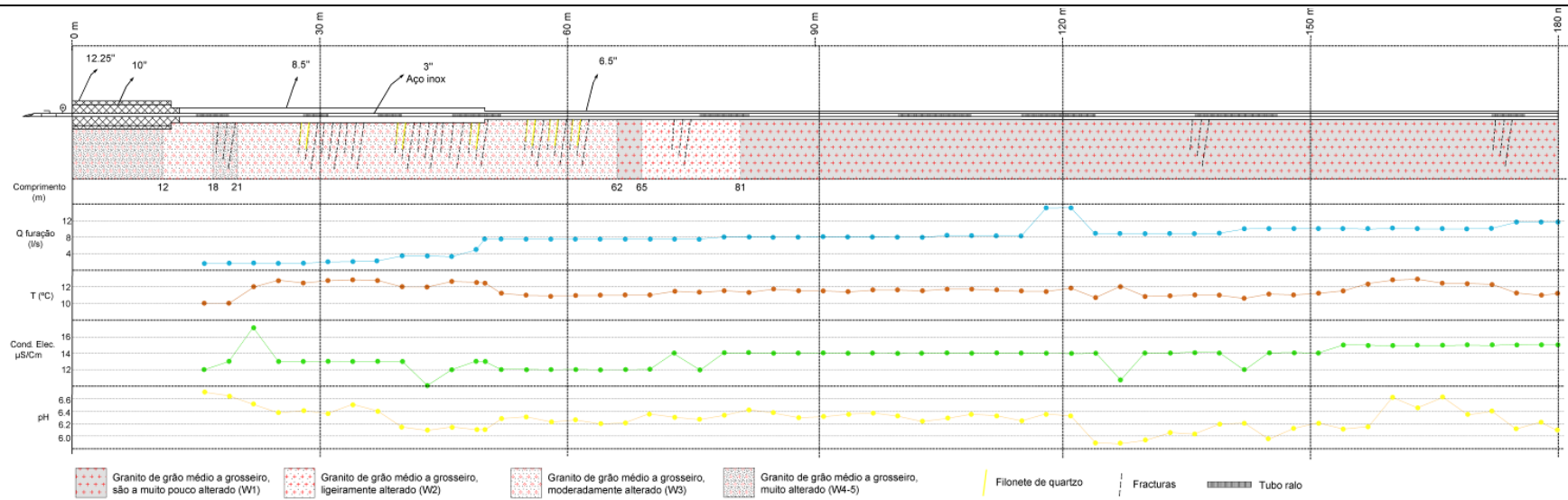


Figura 225 – Aspectos construtivos do furo FH1: reinterpretação litológica, estrutural e mineralógica e grau de alteração.

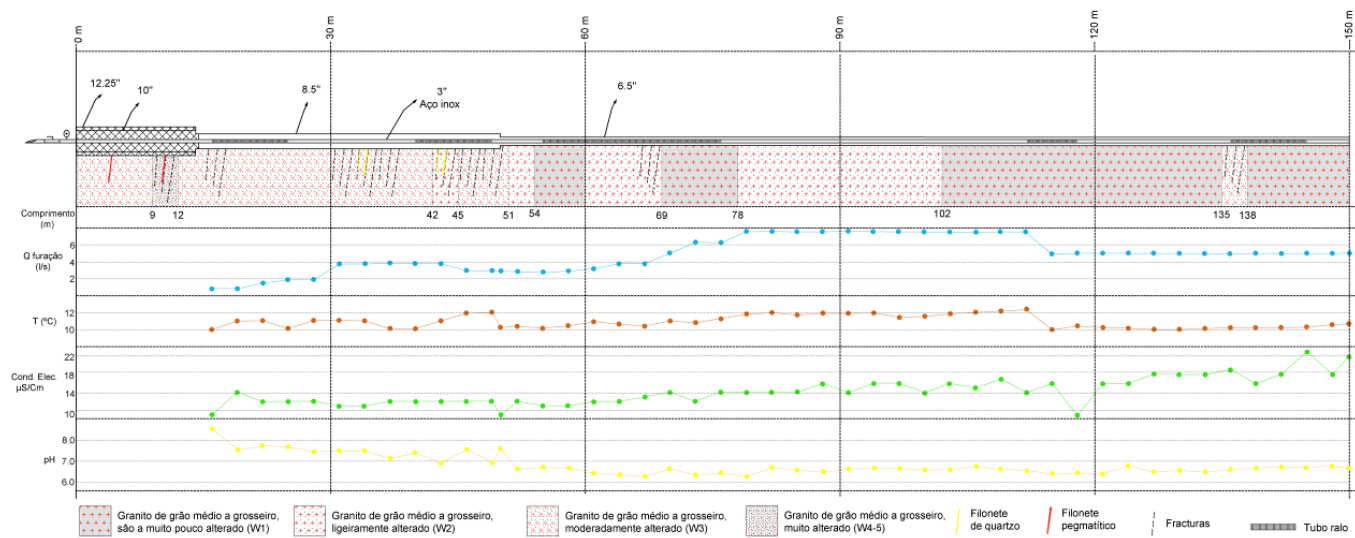


Figura 226 - Aspectos construtivos do furo FH2: reinterpretação litológica, estrutural e mineralógica e grau de alteração.

#### 5.4.6.2. *Hidroquímica*

No decurso dos estudos realizados na área da Noninha, surgiu a necessidade de uma caracterização hidroquímica das águas. Foram então seleccionados seis pontos considerados mais representativos a partir do inventário hidrogeológico realizado, nos quais foram realizadas amostragens em Junho de 2008 e Março de 2011 (figura 227). Foram ainda retomados os dados relativos aos furos FH1 e FH2, gentilmente cedidos pelas empresas TARH, Lda e JAPP, Lda, num total de 14 amostras por cada furo, realizadas entre Julho de 2009 e Março de 2011.

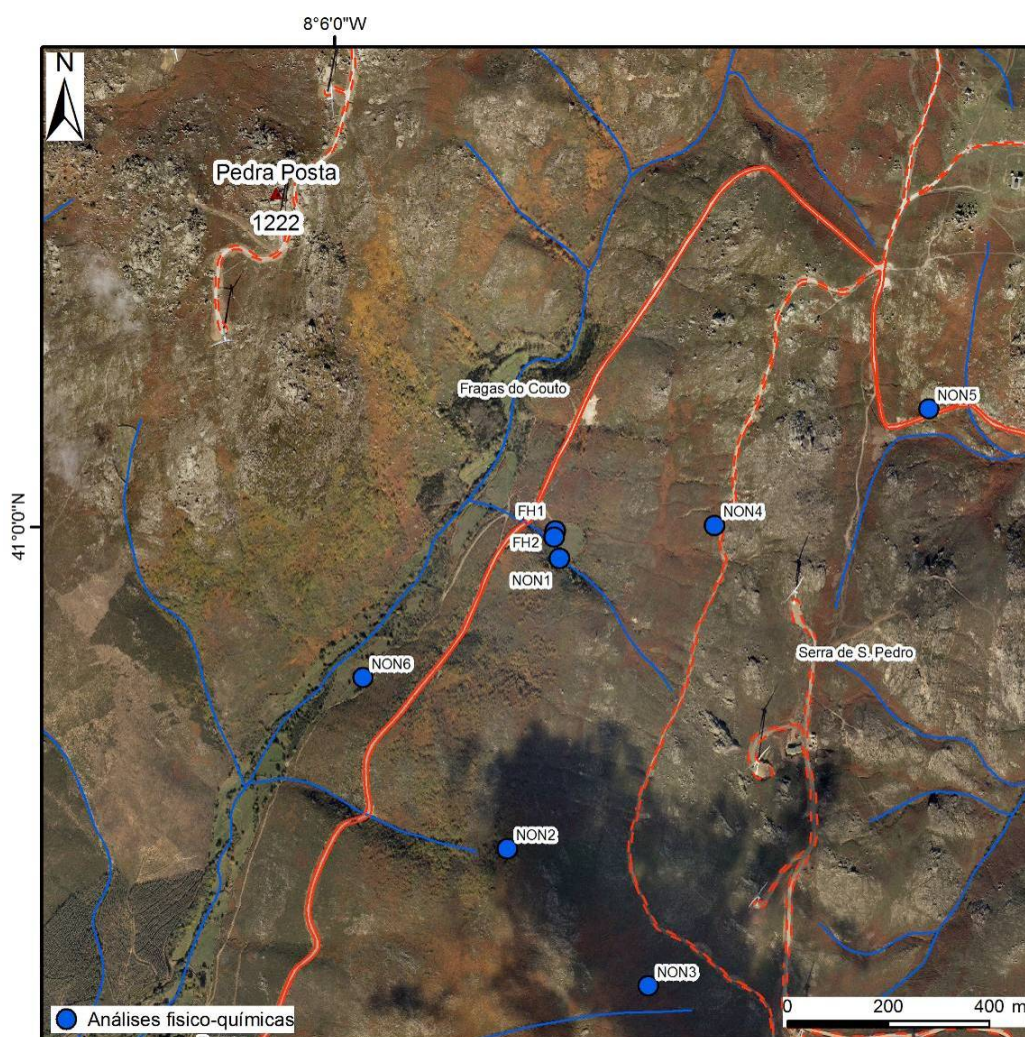


Figura 227 – Localização dos pontos de amostragem para análise físico-química, na área da Noninha.

Todas as águas amostradas apresentam valores de mineralização muito baixos, inferiores a 35,8 mg/L, tendo sido o valor mais alto registado no ponto FH2. Os resultados analíticos foram projectados nos diagramas de Piper (figura 228) e de Stiff (figura 229).

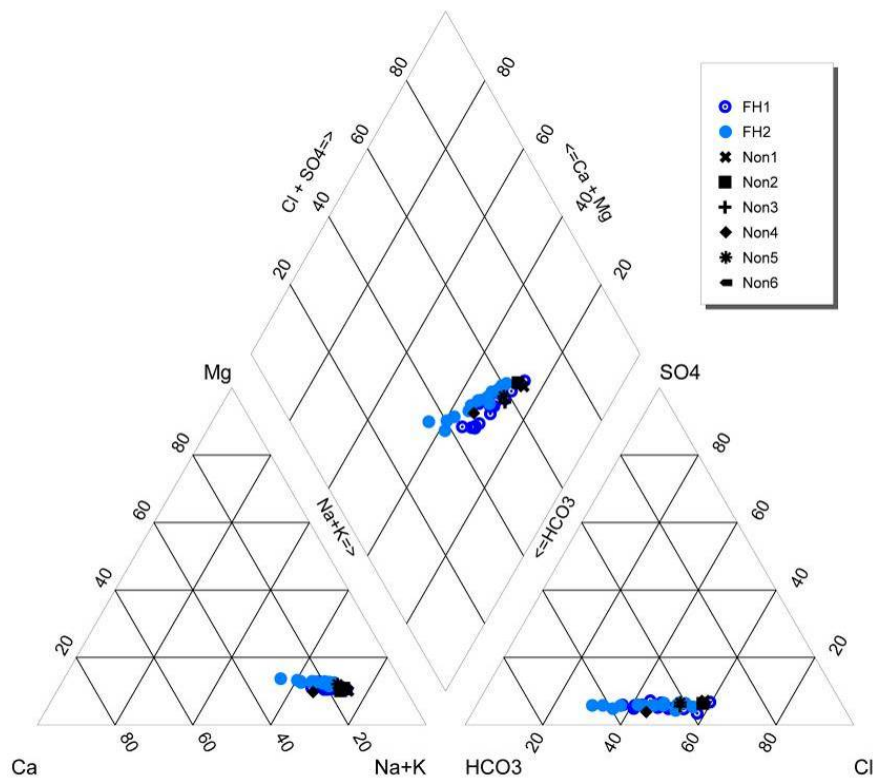


Figura 228 – Diagrama de Piper relativo aos oito pontos de amostragem da área da Noninha.

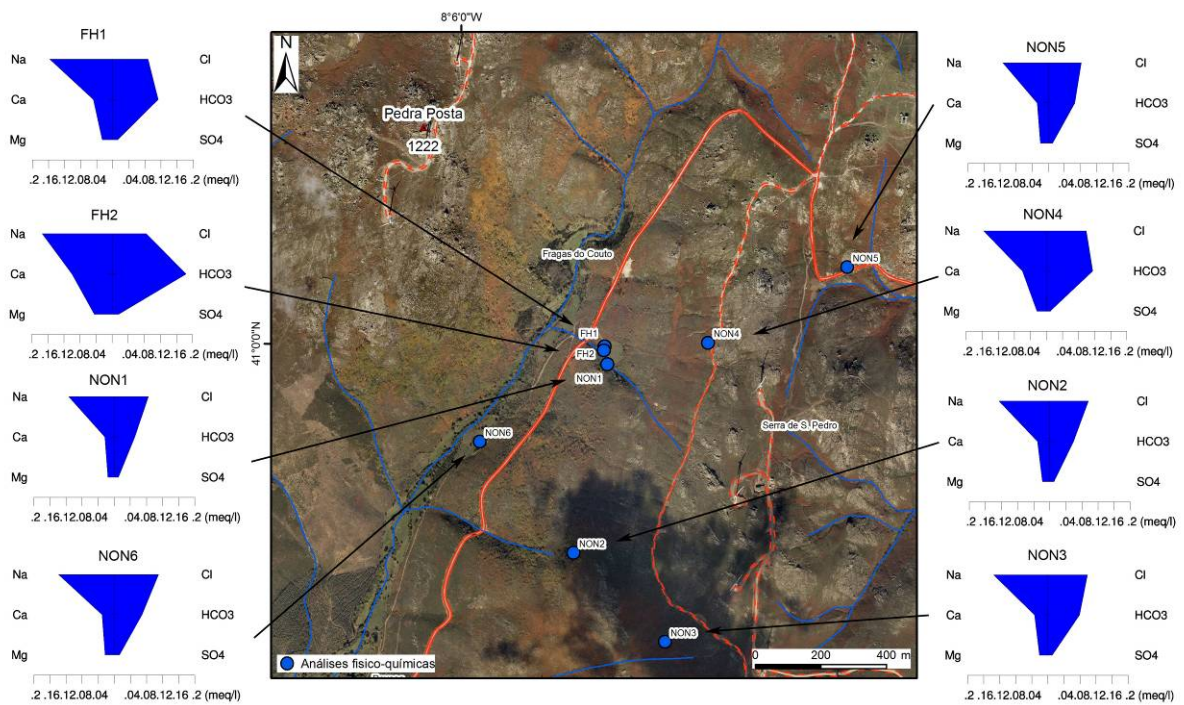


Figura 229 – Diagramas de Stiff relativos aos pontos de água amostrados na área da Noninha (cf. Quadro 33).

As águas analisadas apresentam, maioritariamente, uma fácies cloretada sódica, com excepção da nascente do caminho do Vale do Asno (Non4) e das captações FH1 e FH2, as quais se classificam como bicarbonatadas sódicas.

Face aos baixos valores de mineralização e à fácies hidroquímica dos pontos Non1, Non2, Non3, Non5 e Non6, estas deverão ser águas de circulação superficial, com intervalos de tempo (muito) curtos entre a recarga e a emergência. Por outro lado, a fácies bicarbonatada da “nascente do caminho” (Non4) deverá corresponder a uma circulação mais profunda com um percurso de circulação um pouco mais longo, que terá possibilitado uma maior interacção água-rocha. As águas das captações FH1 e FH2, podem ser classificadas como hipossalinas, e apesar de serem bicarbonatadas sódicas, passam a cloretadas sódicas no período da máxima precipitação, o que confere um aspecto linear à projecção dos resultados no diagrama de Piper da figura 228. A relação sílica/mineralização total das águas analisadas é da ordem de 30 a 35%.

A evolução temporal dos valores dos principais iões (Na, Ca, Mg, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>) nas duas captações revela uma tendência estável ou de descida muito ligeira, com excepção para o teor de cloretos, que apresenta uma tendência de aumento (figura 230). Esta tendência parece indicar um efeito de esvaziamento do aquífero e de diminuição do tempo de circulação. Os dados de precipitação mensal recolhidos para as estações mais próximas (INAG, 2009) apresentam lacunas consideráveis que não permitem, para o período em questão, efectuar uma correlação com os parâmetros hidroquímicos. As análises relativas às captações dizem respeito apenas a cerca de dois anos de monitorização dos furos, pelo que se considera pertinente a sua monitorização contínua, bem como a eventual instalação de uma estação udométrica no local, para que se possa avaliar mais correctamente as evoluções hidroquímicas das águas ao longo do tempo, quer em termos globais, quer as variações ao longo do ano hidrológico.

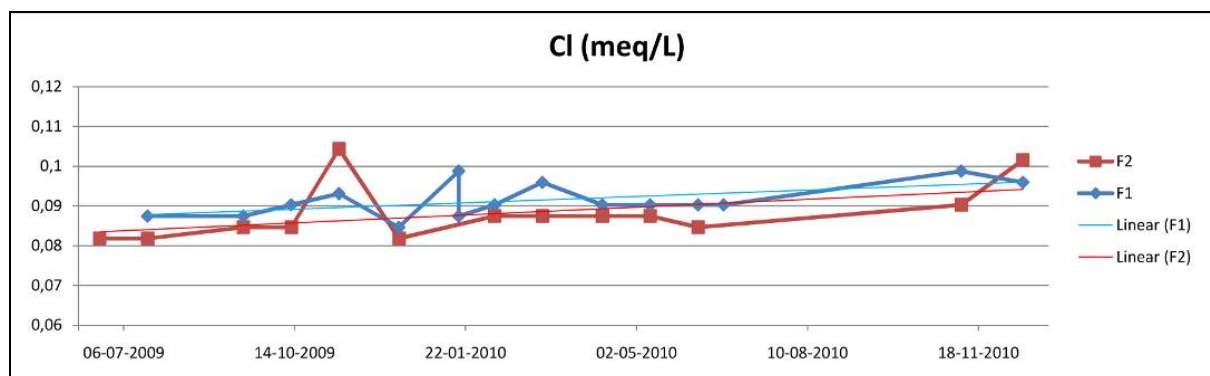


Figura 230 – Evolução do teor de cloretos nas captações FH1 e FH2.

À semelhança do pólo anterior, a análise química das águas através do método ICP-MS (quadro 47) possibilitou uma visão detalhada dos elementos químicos presentes na água, tendo sido identificada a presença nas águas de Manganês, Rubídio, Estrôncio e ainda de Urânio. Os valores mais elevados correspondem aos pontos Non4 e FH1, que correspondem a uma nascente e a um dos furos de captação, o que sugere um tempo de residência e circulação mais elevado para as águas emergentes nestes dois pontos. Registou-se ainda que as quantidades de Ferro, Mercúrio e Tório se encontram abaixo do limite de detecção.

Quadro 47 - Síntese dos principais elementos químicos detectados nas águas da área da Noninha, através da análise por ICP-MS (análise Actlabs, Canadá, em Abril de 2011).

Elemento químico	Na	Mg	Si	K	Ca	Mn	Fe	As	Rb	Sr	Hg	Pb	Th	U
Limite de detecção	5	1	200	30	700	0,1	10	0,03	0,005	0,04	0,2	0,01	0,001	0,001
NON2	2820	203	2800	150	< 700	2,9	< 10	0,31	1,05	4,36	< 0,2	0,02	< 0,001	0,333
NON4	3750	271	5300	280	1100	5,4	< 10	2,19	1,53	7,2	< 0,2	0,07	< 0,001	1,73
FH1	2990	250	2900	120	< 700	1,5	< 10	1,85	0,72	4,49	< 0,2	< 0,01	< 0,001	1,29

Unidades: µg/L

Na área da Noninha foram ainda recolhidas amostras de água em 12 pontos do inventário hidrogeológico (cf. figura 232 e quadro 48), que foram alvo de análises radiológicas.

Os valores obtidos variam entre 8,5 Bq/L e 1855 Bq/L de gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ), com uma mediana de 611,2 Bq/L e uma média de 638 Bq/L (figura 231). Tal como nas Caldas da Cavaca, estes valores médios situam-se acima do intervalo proposto por Pereira et al. (2007) para as águas associadas a rochas graníticas (104 a 373 Bq/L).

É de ressaltar que as concentrações mais elevadas são superiores em várias ordens de grandeza ao intervalo referido, sendo o desvio padrão da ordem dos 628 Bq/L, traduzindo a grande variabilidade dos valores obtidos. Os valores mais baixos (< 20 Bq/L) correspondem a pontos de água com alguma circulação superficial antes da recolha da amostra, o que possibilita a libertação do gás radão para a atmosfera, diminuindo drasticamente os valores da actividade em gás radão. Estas amostras não serão, por isso, representativas das águas subterrâneas da região da Noninha. As amostras NON7 e NON9, apesar de recolhidas em linhas de água, apresentam valores de  $^{222}\text{Rn}$  mais elevados que os restantes colhidos em linhas de água superficial. Tal facto ficar-se-á a dever à maior proximidade destes pontos à nascente que deu origem a essa mesma linha de água (cf. figura 232).

Quadro 48 – Parâmetros registados *in situ* e concentrações de gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) e actividade  $\alpha$  e  $\beta$  nas águas da área Noninha (cf. figura 216).

Amostra	Tipo de ponto de água	Colheita	pH	Cond. Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	$^{222}\text{Rn}$ (Bq/L)	$\alpha$ (Bq/L)	$\beta$ (Bq/L)
NON1	Nascente	2-6-08 14:30	5,3	17	10,5	583	0,05	0,23
NON2	Nascente	2-6-08 13:40	5,3	14	11,2	1068	0,15	0,41
NON3	Nascente	2-6-08 13:00	4,9	15	11,1	639	0,13	0,31
NON4	Nascente	2-6-08 12:30	5,5	19	11,1	276	0,19	0,39
NON5	Fonte	2-6-08 11:30	5,4	13	10,0	1085	0,01	0,18
NON6	Mina	2-6-08 15:00	6,8	15	10,8	769	0,10	0,24
NON7	Linha de água	2-6-08 15:40	5,1	7	10,1	86	<l.d.	0,14
NON8	Nascente	10-7-08 10:00	5,0	13	11,0	662	0,06	0,14
NON9	Linha de água	10-7-08 10:15	5,6	8	14,4	100	0,00	0,06
NON10	Linha de água	10-7-08 10:30	6,0	9	9,7	9,2	<l.d.	0,04
NON11	Linha de água	10-7-08 10:55	6,0	9	10,2	8,5	<l.d.	0,02
NON12	Linha de água	10-7-08 12:00	6,1	13	11,0	13	<l.d.	0,04
FH1	Furo	17-5-09 15:40	5,4	21	11,0	1855	0,34	0,47
FH2	Furo	17-5-09 15:05	5,2	17	10,5	1780	0,47	0,37
<b>Mediana:</b>			5,4	13,5	10,9	611	0,1	0,2
<b>Média:</b>			5,5	13,6	10,9	638	0,2	0,2
<b>Desvio padrão:</b>			0,5	4,2	1,1	626	0,2	0,2

l.d. - Limite de detecção

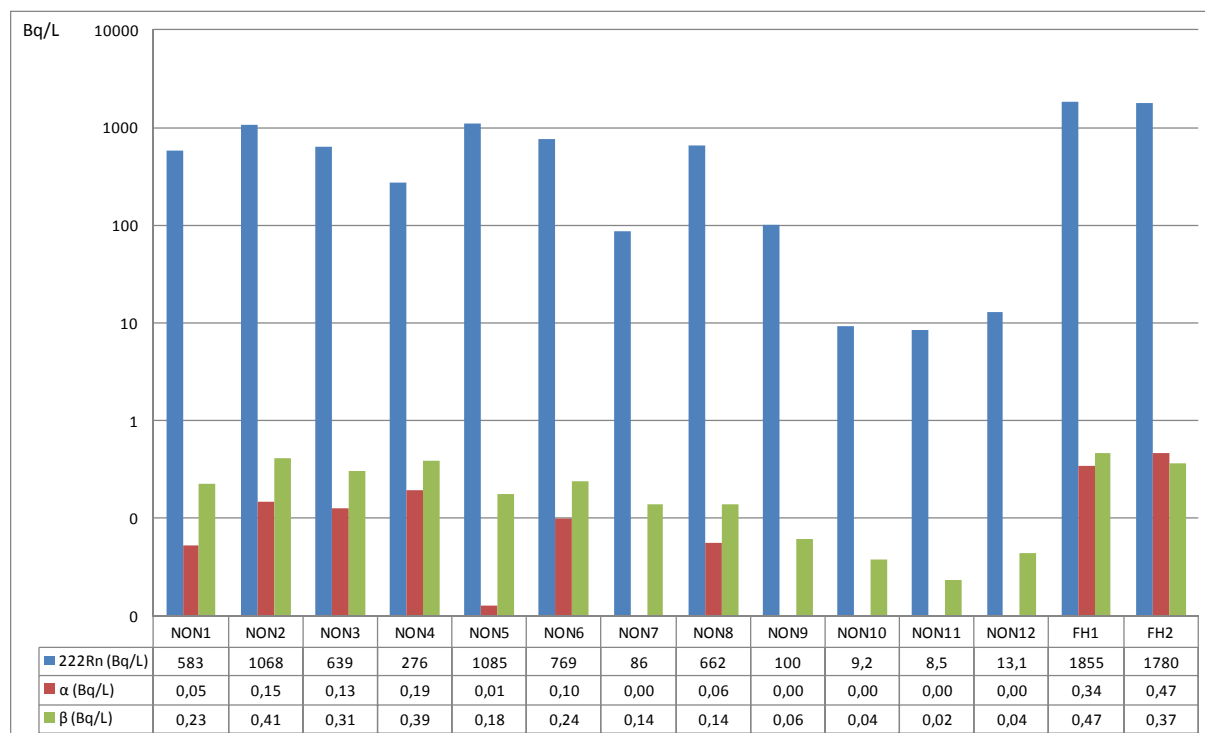


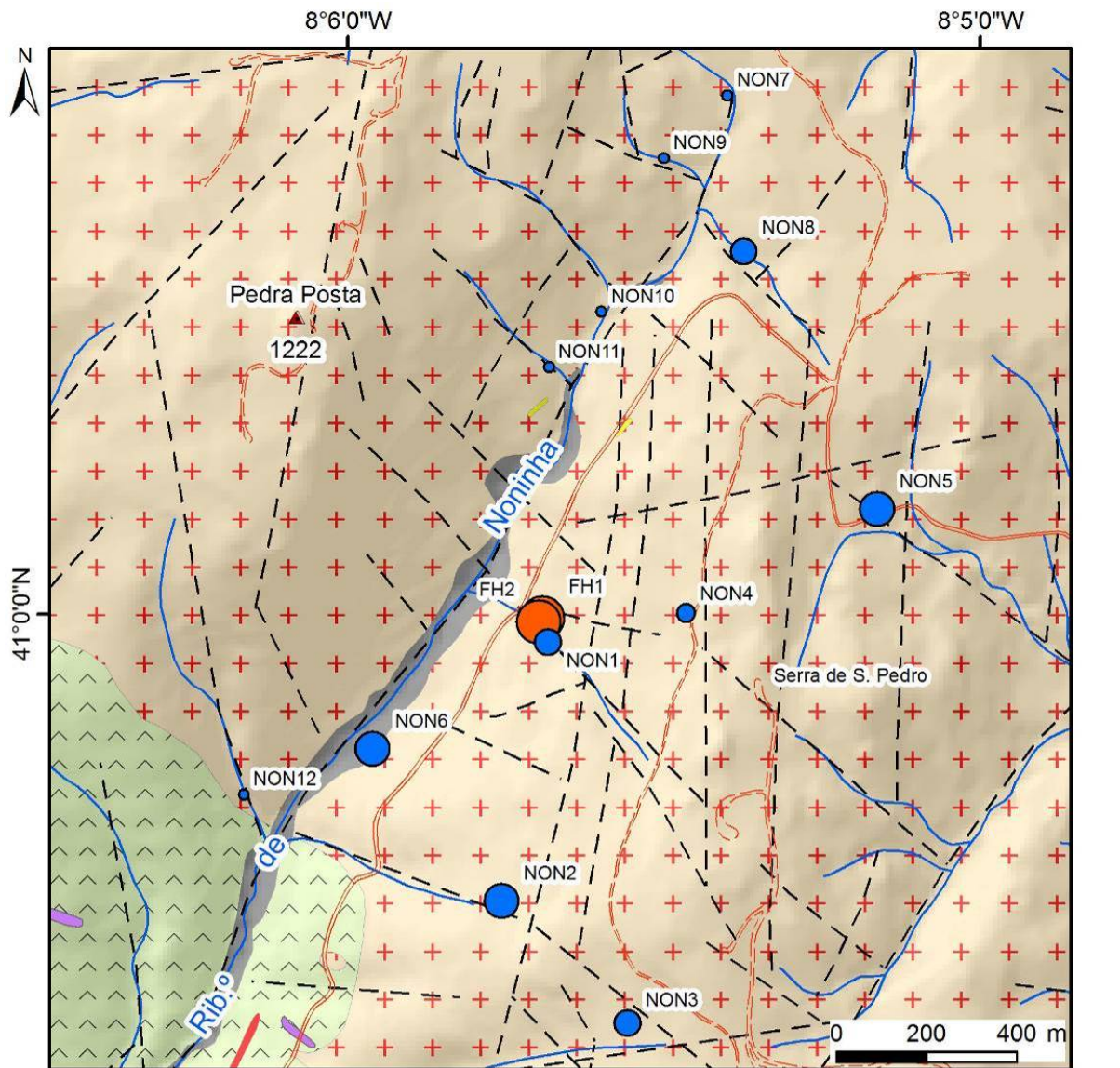
Figura 231 - Valores de gás radão  $^{222}\text{Rn}$  e actividade  $\alpha$  e  $\beta$ , nas amostras de água da área da Noninha.

---

Nesta região, os valores mais elevados de gás radão parecem estar condicionados por dois factores principais. Em termos gerais, os teores mais elevados parecem concentrar-se num grande bloco, limitado pela falha de orientação NE-SW que corresponde à Ribeira da Noninha e a uma outra falha paralela, localizada no extremo SE da área apresentada. Foi neste grande bloco, correspondente à Serra de S. Pedro, que foram inventariados um maior número de nascentes que, como se observa pela figura 232, apresentam também, em geral, actividades mais elevadas de gás radão. O segundo factor condicionante será o tipo de captação. Nos furos sub-horizontais realizados junto à antiga nascente de S. Pedro das Meadinhas registaram-se os valores mais elevados de gás radão. Tal facto poderá ficar a dever-se à geometria particular dos furos a que estará naturalmente associada uma maior probabilidade de intersecção de fracturas com mineralizações secundárias de urânio.

Os valores de actividade  $\alpha$  e  $\beta$  total situam-se sempre abaixo de 0,5 Bq/L. De registar que, tal como em relação ao  $^{222}\text{Rn}$ , também os valores mais elevados são registados nas amostras de água dos dois furos sub-horizontais atrás referidos, o que poderá também ser um geoindicador da presença de enriquecimento de urânio secundário em fracturas intersectadas pelos furos. Em qualquer dos casos, os valores situam-se muito abaixo do limite máximo imposto pelo Decreto-Lei nº306/2007 para a actividade  $\alpha$  e  $\beta$  total (0,5 Bq/L e 1Bq/L, respectivamente).





Adaptado de: Carta Geológica de Portugal, 1/50.000, folha 14-A Lamego, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa

**Holocénico**

Coluviões e/ou eluviões

**Proterozóico superior**

Corneanas pelíticas e quartzíticas

Quartzofilitos

**Rochas graníticas (tardi a pós-tectónicas)**

Granito monzonítico porfiróide, de grão médio

**Rochas filonianas**

Filões de quartzo

Lineamentos tectónicos foto-interpretados

Rede hidrográfica

**<sup>222</sup>Rn (Bq/L)**

- 8 - 100
- 100 - 300
- 300 - 750
- 750 - 1100
- 1100 - 1860

- Furos
- Nascentes / linhas de água

Figura 232 – Pontos de amostragem de águas para análises radiológicas na área da Noninha.

---

#### 5.4.6.3. *Unidades hidrogeológicas*

Tendo em conta os dados apresentados anteriormente, foram definidas uma série de unidades hidrogeológicas (figura 233), de acordo com a ligação à rede hidrográfica, o tipo de escoamento, horizonte de alteração e foi ainda avaliada a vulnerabilidade à contaminação, pelo método GOD (*Groundwater – Overall lithology – Depth to water table*), de acordo com Foster et al., 2002 (figura 234). Assim, na área da Noninha foram identificadas as seguintes unidades hidrogeológicas, que se representam no mapa da figura 233, a saber:

a) *Rochas sedimentares – Coluviões e/ou eluviões*

Esta unidade apresenta uma representatividade cartográfica reduzida, estando limitada apenas ao fundo do vale da Ribeira da Noninha. É uma unidade constituída por materiais argilo-arenosos, por vezes com calhaus rolados, e apresenta uma fraca espessura. São materiais que apresentam circulação em meio poroso, e muito provavelmente terão ligação à rede hidrográfica. A vulnerabilidade à contaminação desta unidade hidrogeológica é alta.

b) *Rochas metassedimentares – Corneanas metapelíticas*

As corneanas metapelíticas representam uma área importante na área a SW do mapa, nomeadamente a W da povoação da Noninha. São materiais que apresentam um horizonte de alteração baixo, e em geral arenoso. A circulação faz-se em meio fissurado, e admite-se uma vulnerabilidade à contaminação muito baixa.

c) *Rochas metassedimentares – Quartzofilitos*

Os quartzofilitos, com intercalações centimétricas de níveis metapelíticos, surgem em forma de bandas, mais ou menos maciças com espessura a rondar os 50 cm a 1 m, instalados no seio das corneanas metapelíticas, e com direcção geral WNW-ESSE. Apresentam um horizonte de alteração idêntico às corneanas metapelíticas, com circulação em meio fissurado, e vulnerabilidade à contaminação muito baixa.

d) *Rochas metassedimentares – Xistos mosqueados*

Os xistos mosqueados não tem praticamente representatividade na área de estudo, ocorrendo na continuidade natural com as corneanas metapelíticas, surgindo no extremo SW da área. Esta unidade apresenta um horizonte de alteração em geral argiloso, que por vezes atinge espessuras altas. A vulnerabilidade à contaminação pode ser considerada baixa.

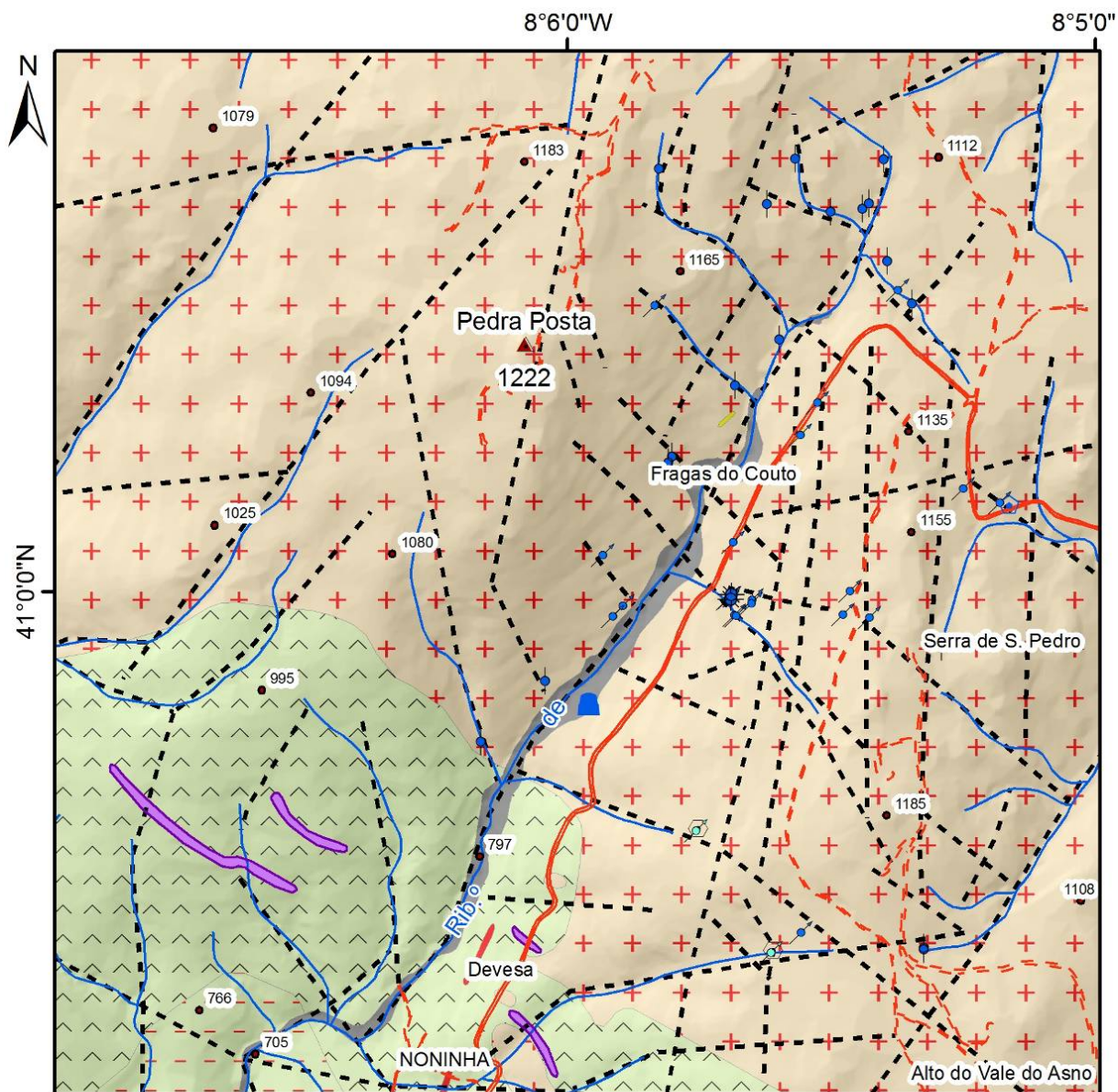
---

*e) Rochas granitóides – Granito monzonítico porfiróide, de grão médio*

A unidade hidrogeológica do granito porfiróide domina claramente a área de estudo. Apresenta horizontes de alteração em geral elevados, que podem atingir por vezes as dezenas de metros, sendo constituído por materiais arenosos (resultantes da desagregação dos minerais de quartzo) e argilosos (resultantes sobretudo da alteração dos minerais de feldspato). A circulação efectua-se em meio fracturado, no caso do granito são, e em meio poroso, no caso de horizonte de alteração. Registe-se ainda que todos os pontos de água inventariados se localizam nesta unidade hidrogeológica. A sua vulnerabilidade à contaminação é baixa nas áreas de rocha granítica são a pouco alterada e média nas áreas de granito alterado a decomposto.

*f) Rochas filonianas*

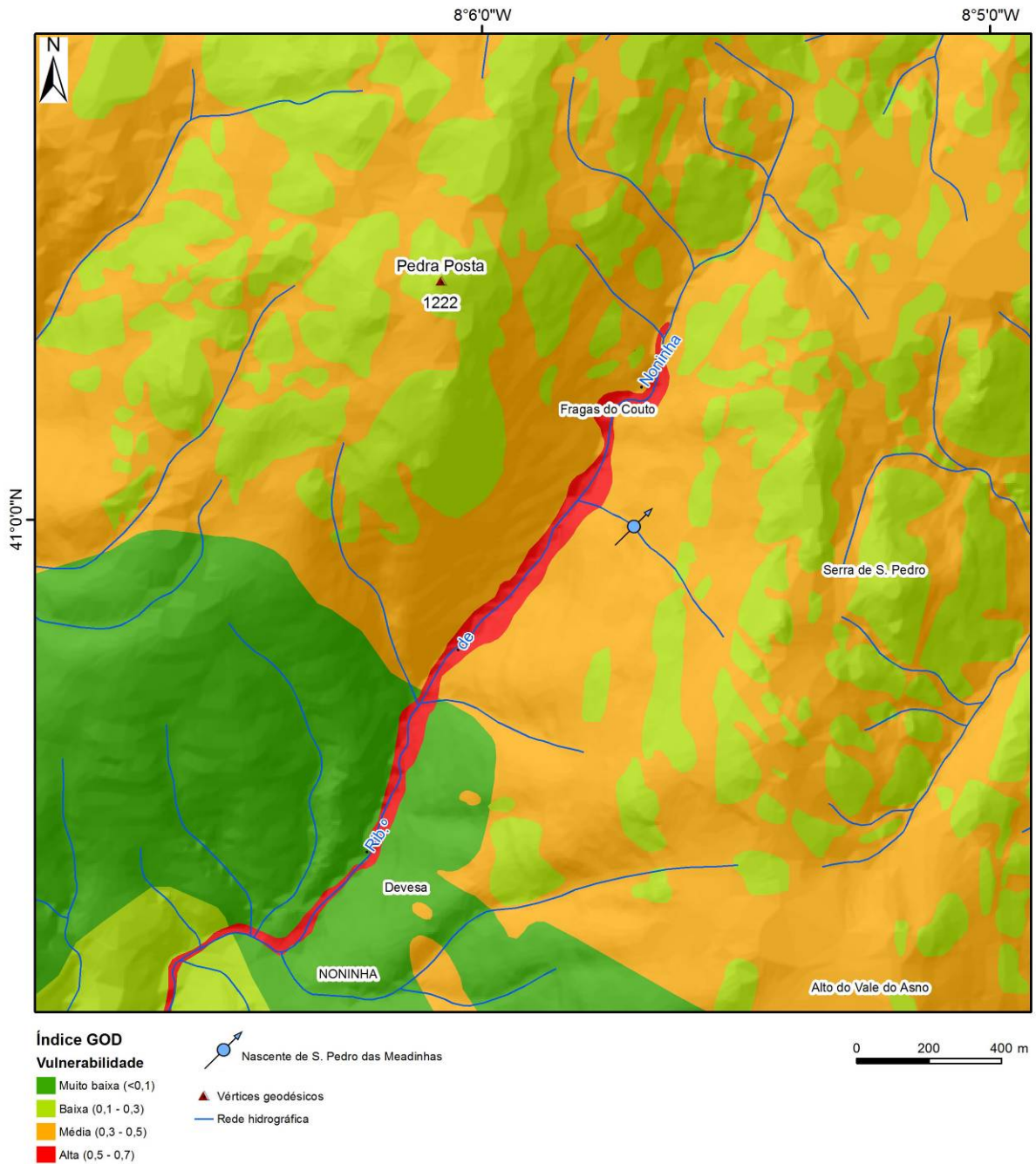
As rochas filonianas estão fracamente representadas na área em estudo, pelo menos no que diz respeito às estruturas com representatividade cartográfica assinalável. No entanto, as estruturas filonianas constituem factores de favorabilidade na prospecção hidrogeológica.



Unidades Hidrogeológicas		Tipologia dos Aquíferos							Vulnerabilidade à Poluição		
		Ligação à rede hidrográfica		Tipo de escoamento		Horizonte de alteração					
		tem	não tem	meio poroso	meio fissurado	espessura baixa	espessura alta	argiloso		arenoso	
Rochas Sedimentares	Coluviões e/ou eluviões	■	x		x		x		x	x	Alta
	Corneanas metapelíticas	■		x		x	x			x	Moderada
Rochas neossedimentares	Quartzofilitos	■		x		x	x			x	Moderada
	Xistos mosqueados	■		x		x		?	x		Moderada
Rochas graníticas	Granito monzonítico porfirídico, de grão médio	■		x	x	x		x	x	x	Moderada - Alta
Rochas filonanas	Filões de quartzo (*)	■		x		x				x	-
	Filões e massas apalto-pegmáticas (*)	■		x		x				x	-



Figura 233 – Esboço hidrogeológico da área da Noninha.



	Unidades hidrogeológicas					
	Coluviões e/ou eluviões	Corneanas metapelíticas	Quartzofilitos	Xistos mosqueados	Granito monzonítico porfiróide, de grão médio, são a pouco alterado	Granito monzonítico porfiróide, de grão médio, medianamente alterado a decomposto
<b>G</b>	livre	confinado	confinado / semi-confinado	confinado / semi-confinado	confinado / semi-confinado	semi-confinado / livre
<b>O</b>	areias e cascalhos aluvionares	formações metamórficas	formações metamórficas	formações metamórficas	formações magmáticas	formações magmáticas
<b>D</b>	< 5 m	5-20 m	5-20 m	5-20 m	5-20 m	< 5 m

Figura 234 – Índice de vulnerabilidade GOD, para as unidades hidrogeológicas da área da Noninha.

#### 5.4.7. Cartografia hidrogeomorfológica: esboço do potencial de infiltração

À semelhança do pólo das Caldas da Cavaca, a elaboração da cartografia hidrogeomorfológica e, nomeadamente, do índice do potencial de infiltração, assentou na base SIG criada, e seguindo a abordagem metodológica apresentada no ponto 5.2. Seguidamente, apresentam-se os mapas temáticos produzidos, bem como os factores de ponderação e pesos específicos atribuídos a cada parâmetro, na área da Noninha.

Assim, os factores a que foi atribuído maior peso correspondem à *litologia*, tendo em conta também o seu grau de alteração (20%) e a *densidade de lineamentos tectónicos* (20%) conforme descrito no capítulo 2. Com base nos critérios descritos, foram atribuídos pesos, conforme se indica no quadro 49, à litologia e grau de alteração do maciço, bem como à densidade de lineamentos tectónicos, dos quais resultaram os mapas das *figura 235* e *figura 236*.

Quadro 49 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores litologia / grau de alteração e densidade de lineamentos tectónicos.

Litologia / Grau de alteração	Peso específico	Densidade de lineamentos tectónicos	Peso específico
Terraços, aluviões	20	Alta (> 21/km <sup>2</sup> )	20
Corneanas pelíticas e quartzíticas	10	Média (14-21/km <sup>2</sup> )	15
Xistos mosqueados	5	Baixa (7-14/km <sup>2</sup> )	10
Quartzofilitos	10	Muito baixa (< 7/km <sup>2</sup> )	5
Granito são a pouco alterado	5		
Granito medianamente alterado a alterado	15		
Filões (Quartzo / aplito-pegmatito)	15		

A distribuição das áreas de rocha granítica mais alterada (*figura 235*) parece estar condicionada quer pela morfologia da área de estudo, quer pela estruturação do próprio maciço. Assim, verificou-se que os afloramentos rochosos mais extensos de granito são a pouco alterado ocorrem na área do alto da Pedra Posta (onde parecem estar condicionados sobretudo por fracturas de direcção aproximada NE-SW) e no alto da Serra de S. Pedro, onde estes afloramentos, condicionados por lineamentos de direcção mais próxima de N-S, constituindo alinhamentos salientes na paisagem, quer no topo da Serra de S. Pedro, quer ao longo das vertentes, em direcção à Ribeira da Noninha. As rochas metassedimentares identificadas na área produzem um manto de alteração em geral argiloso, pouco favorável à circulação de água, e por isso foram atribuídos a estas rochas pesos específicos baixos.

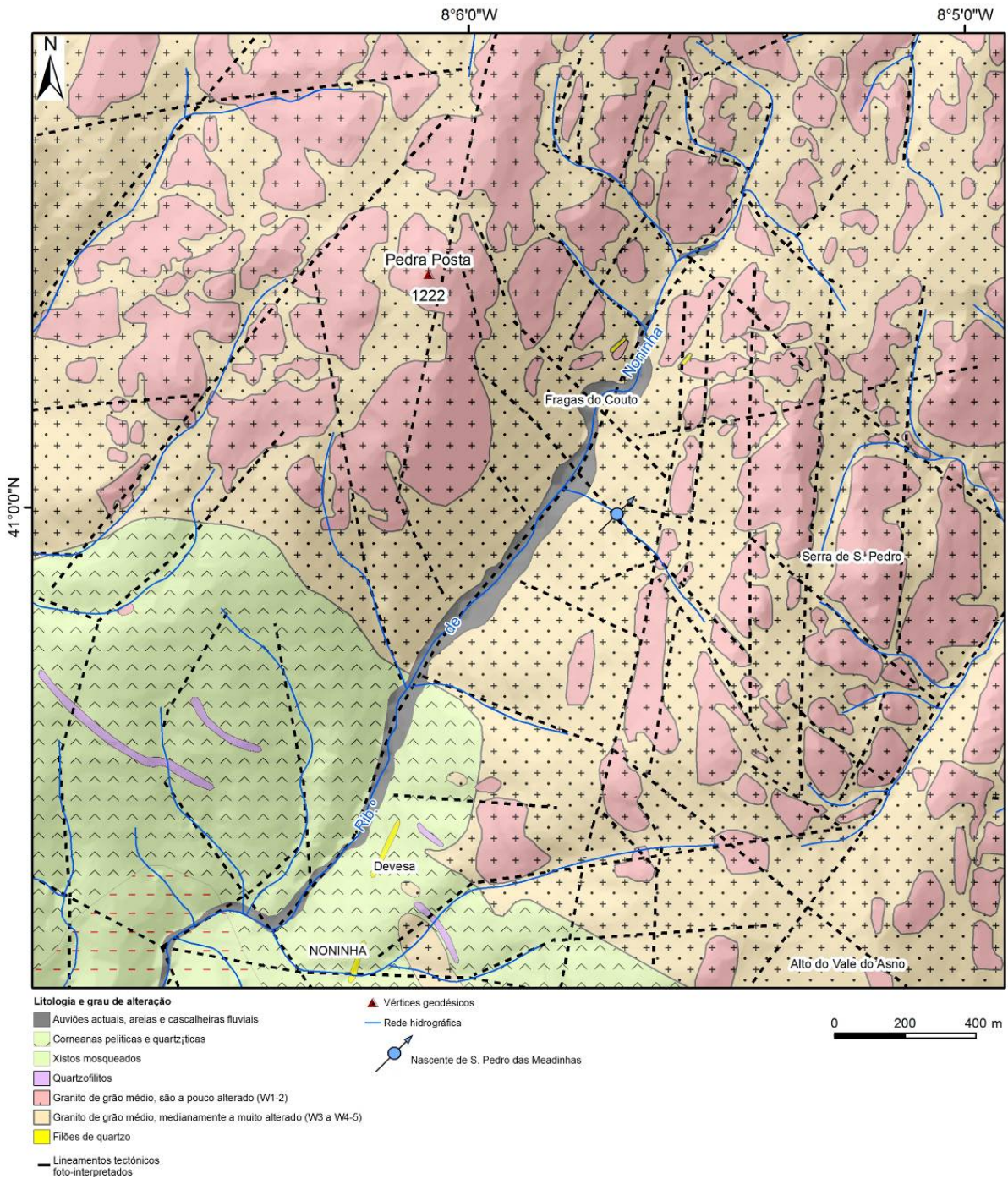


Figura 235 – Mapa da litologia e grau de alteração da área da Noninha.

Relativamente à densidade de lineamentos tectónicos (Figura 236), as áreas de maior densidade concentram-se sobretudo na margem esquerda da Ribeira da Noninha, na Serra de S. Pedro, que poderá corresponder a um mega-bloco granítico, mais fracturado que a envolvente, nomeadamente na margem direita da referida ribeira, no Alto da Pedra Posta.

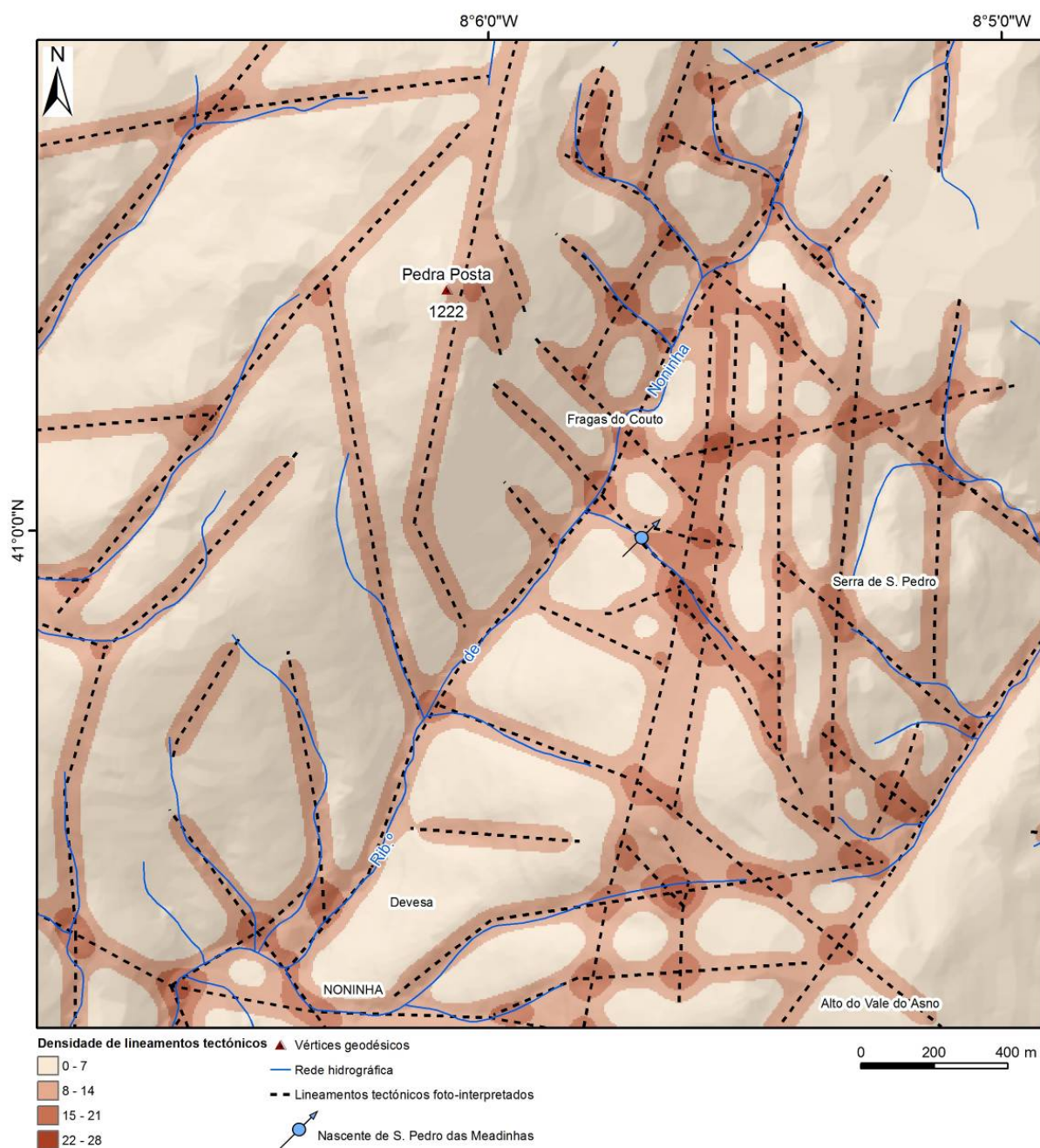


Figura 236 - Mapa da densidade de lineamentos tectónicos da área da Noninha.

A *ocupação do solo* é também um importante factor no potencial de infiltração de uma determinada área, tal como foi referido em capítulos anteriores. Assim, atribuiu-se um peso máximo de 15% às áreas florestais, peso este que varia gradualmente, até se atingirem valores nulos em áreas impermeabilizadas (quadro 50). O mapa resultante é apresentado na figura 237. Na área de estudo apresentada, é visível a predominância das áreas de vegetação arbustiva, nomeadamente nas vertentes do vale da Ribeira da Noninha. Nas



---

áreas mais elevadas, verificou-se uma predominância de áreas improdutivas do ponto de vista agro-florestal, que correspondem, regra geral, a zonas de afloramentos rochosos.

Relativamente à *densidade da rede de drenagem*, e à semelhança do sector anterior, assumiu-se que o escoamento superficial será uma função inversa da circulação subterrânea (*i.e.*, quanto maior for a quantidade de água que se esco superficialmente, menor será a quantidade disponível para infiltração e recarga dos aquíferos), sendo assim foi atribuído um peso superior às áreas com menor densidade de drenagem (quadro 50, figura 238). Em termos espaciais, verificou-se que estas se concentram essencialmente em dois locais: o primeiro na área onde se reúnem as pequenas ribeiras provenientes das nascentes de água que dão origem à Ribeira da Noninha; o outro corresponde à concentração de várias linhas de água, na área deprimida a Sul do mapa, onde se localiza a povoação da Noninha.

Quadro 50 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores ocupação do solo e densidade da rede de drenagem.

Ocupação do solo	Peso específico	Densidade da rede de drenagem	Peso específico
Áreas urbanizadas	2	Muito baixa (< 3/ km <sup>2</sup> )	15
Improdutivos / Afloramentos rochosos	5	Baixa (3 - 6/ km <sup>2</sup> )	13
Floresta: Pinheiro Bravo, Eucalipto, Outras Folhosas	15	Média(6 - 9/ km <sup>2</sup> )	10
Terras aráveis, Culturas anuais	12	Alta(> 9/ km <sup>2</sup> )	8
Vegetação arbustiva	10		

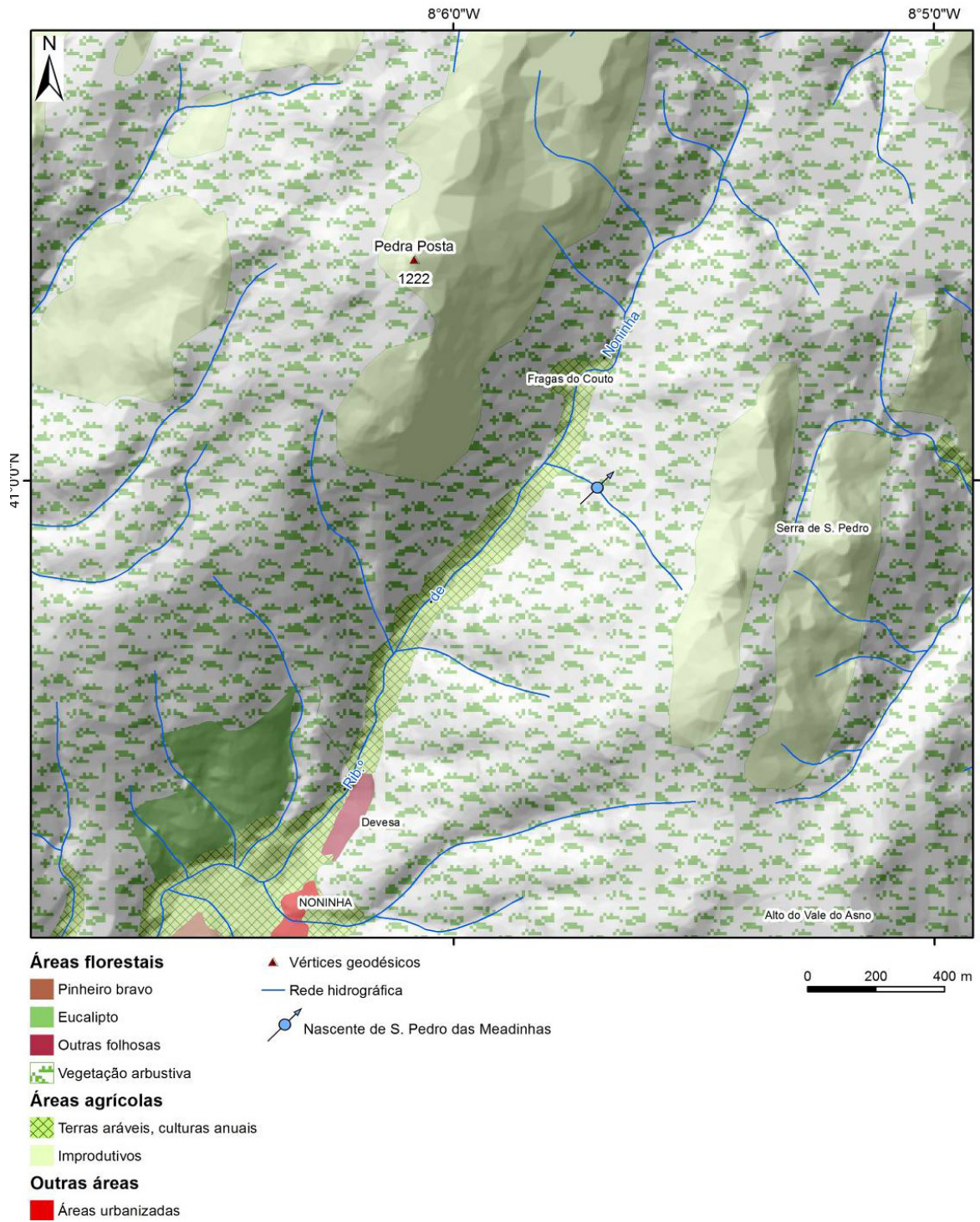


Figura 237 – Mapa da ocupação do solo da área da Noninha.

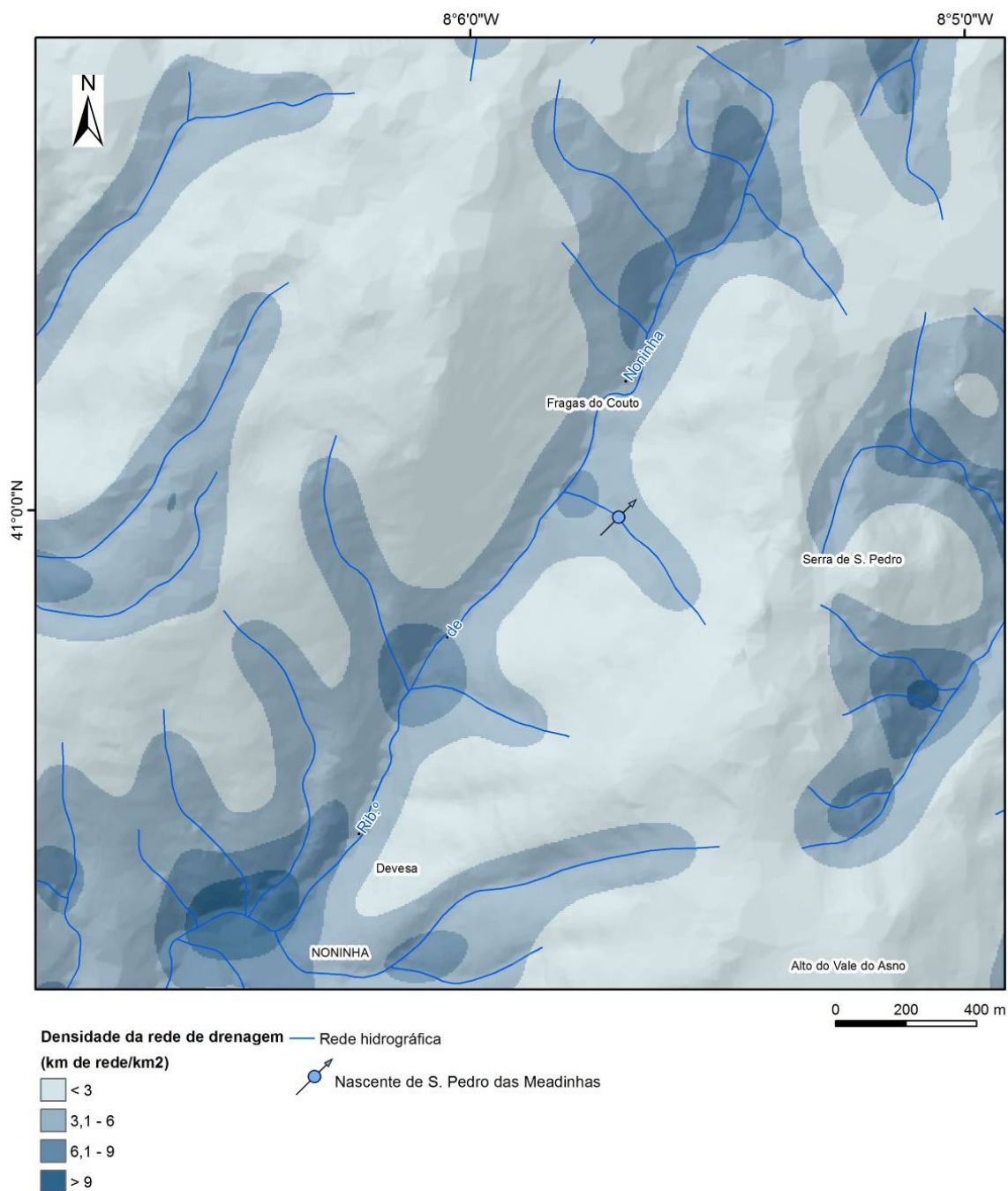


Figura 238 – Mapa da densidade da rede de drenagem da área da Noninha.

Os *declives* apresentam-se também como um factor muito importante na explicação do potencial de infiltração de uma determinada área, e por isso foi-lhes atribuído um peso máximo de 20%, que corresponderá às áreas planas, ou com declives inferiores a 5°. Na área da Noninha, as áreas de declives mais baixos localizam-se sobretudo no topo da Serra de S. Pedro, num corredor de direcção aproximada N-S, bem como junto ao alto da Pedra Posta. Nas vertentes da Ribeira da Noninha os declives atingem, não raras as vezes e sobretudo na margem direita, valores superiores a 25°.

A precipitação apresenta, no caso concreto da Noninha, variações espaciais relacionadas com a altitude, sendo os valores médios anuais bastante elevados. Assim, atribuiu-se um peso máximo de 10% à precipitação superior a 2200 mm/ano (quadro 51). Os mapas resultantes podem ser observados nas figuras 239 e 240.

Quadro 51 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores declives e precipitação.

Declives	Peso específico	Precipitação	Peso específico
Muito baixo (0° - 5°)	20	2200 - 2400 mm/ano	10
Baixo (5° - 15°)	15	2000 - 2200 mm/ano	8
Médio (15° - 25°)	10	1800 - 2000 mm/ano	6
Alto (> 25°)	5	< 1800mm/ano	4

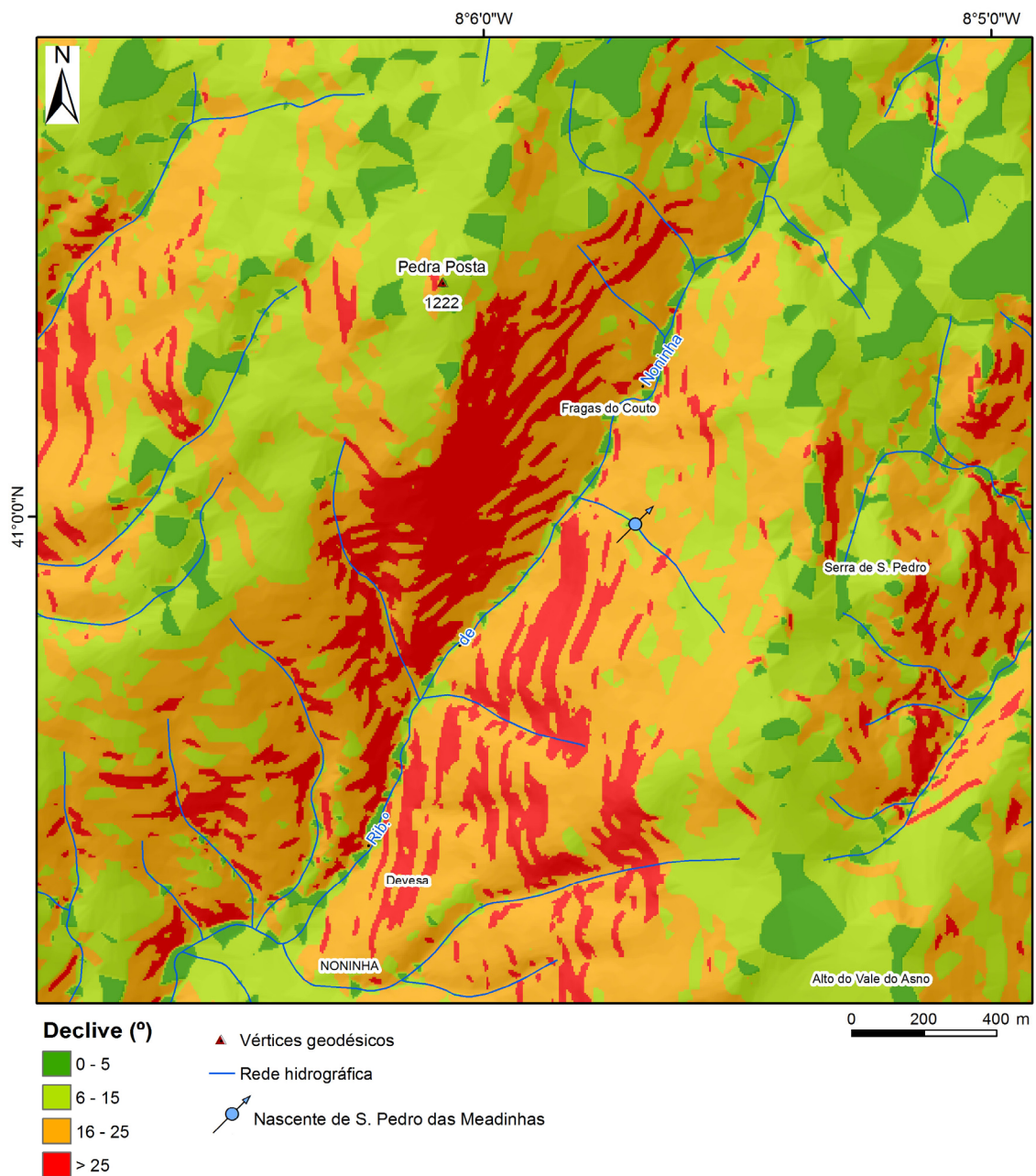


Figura 239 – Mapa de declives da área da Noninha.

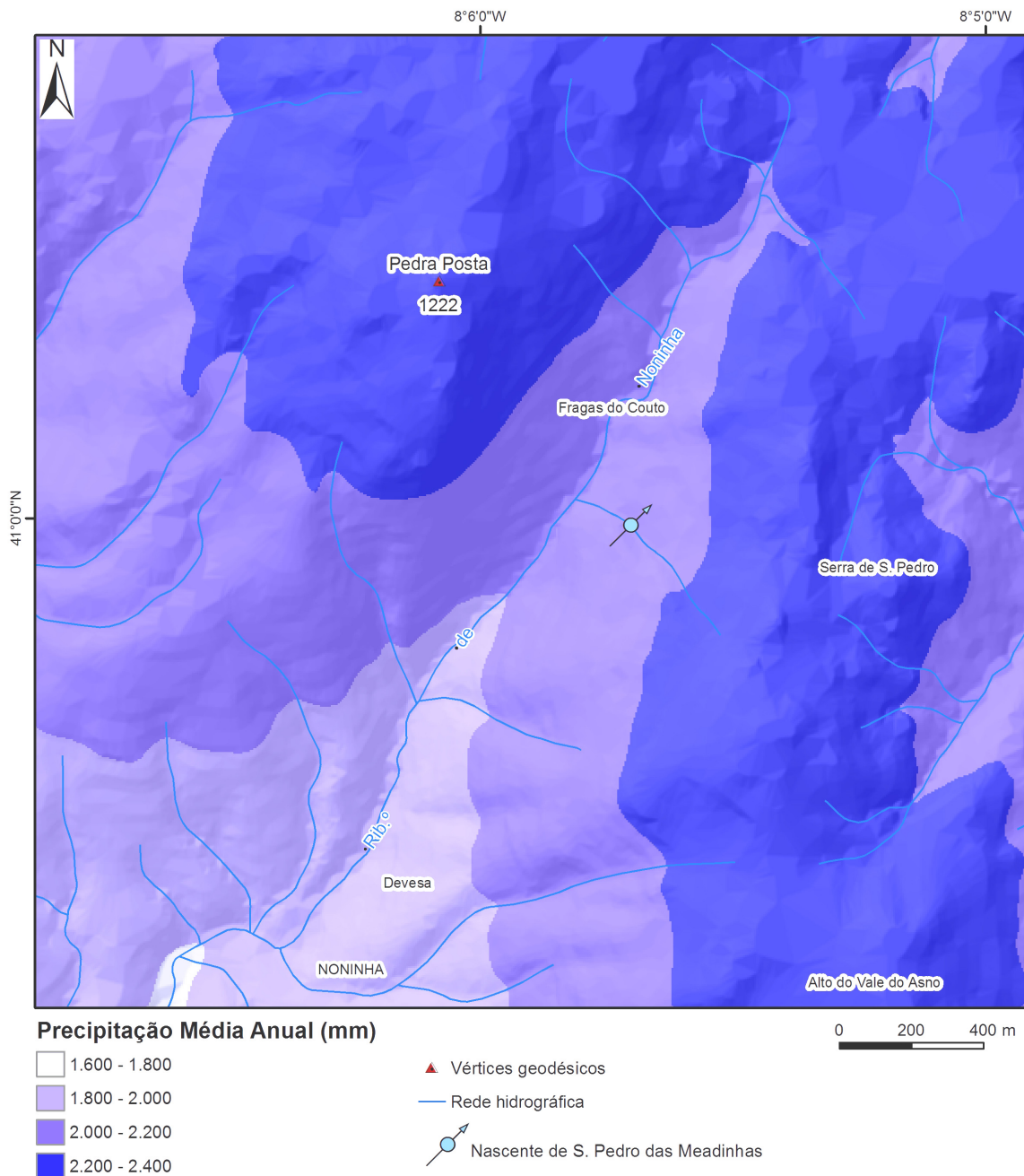


Figura 240 – Mapa da precipitação média anual da área da Noninha.

O cruzamento e análise destes dados, em ambiente SIG, resultou num mapa, apresentado na Figura 241, no qual é possível identificar as áreas com maior potencial de infiltração. Os valores calculados foram então agrupados em três classes: baixo (< 50%), médio (50-75%) e elevado (75-100%).

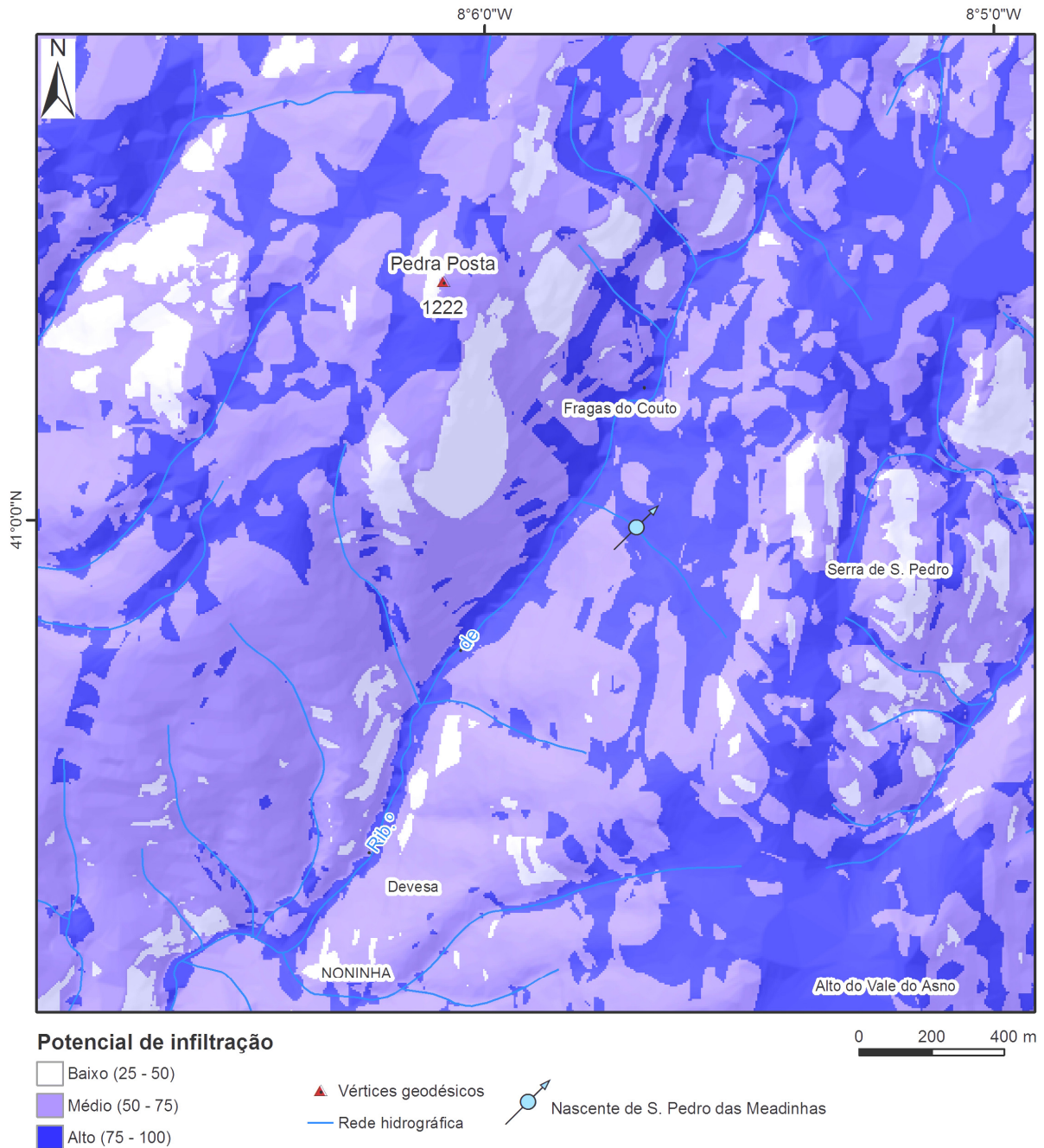


Figura 241 – Potencial de infiltração da área da Noninha.

A sobreposição deste mapa com o mapa geomorfológico permite assim uma leitura integradora dos locais mais relevantes em termos de infiltração na área da Noninha, contribuindo também para o refinamento do modelo hidrogeológico conceptual que se apresenta nos parágrafos seguintes. Da leitura do mapa, ressalta que as áreas com maior potencial de infiltração (Figura 242) estão localizadas sobretudo nas áreas aplanadas da Serra de S. Pedro, numa faixa de direcção aproximada N-S, e em menor dimensão espacial nas áreas das vertentes da margem esquerda da Ribeira da Noninha e no Alto da Pedra

Posta, na vertente da margem direita. Estas áreas caracterizam-se por serem planálticas, nas quais o granito se apresenta em geral mais alterado, e a densidade de lineamentos tectónicos é mais elevada. As áreas de médio potencial de infiltração correspondem sobretudo a áreas de vertente, e estão relacionadas principalmente com a presença de áreas graníticas menos alteradas e menos fracturadas, e em que os declives apresentam valores por vezes elevados. As áreas escarpadas e de granito pouco alterado e fracturado apresentam potencial de infiltração muito reduzido.

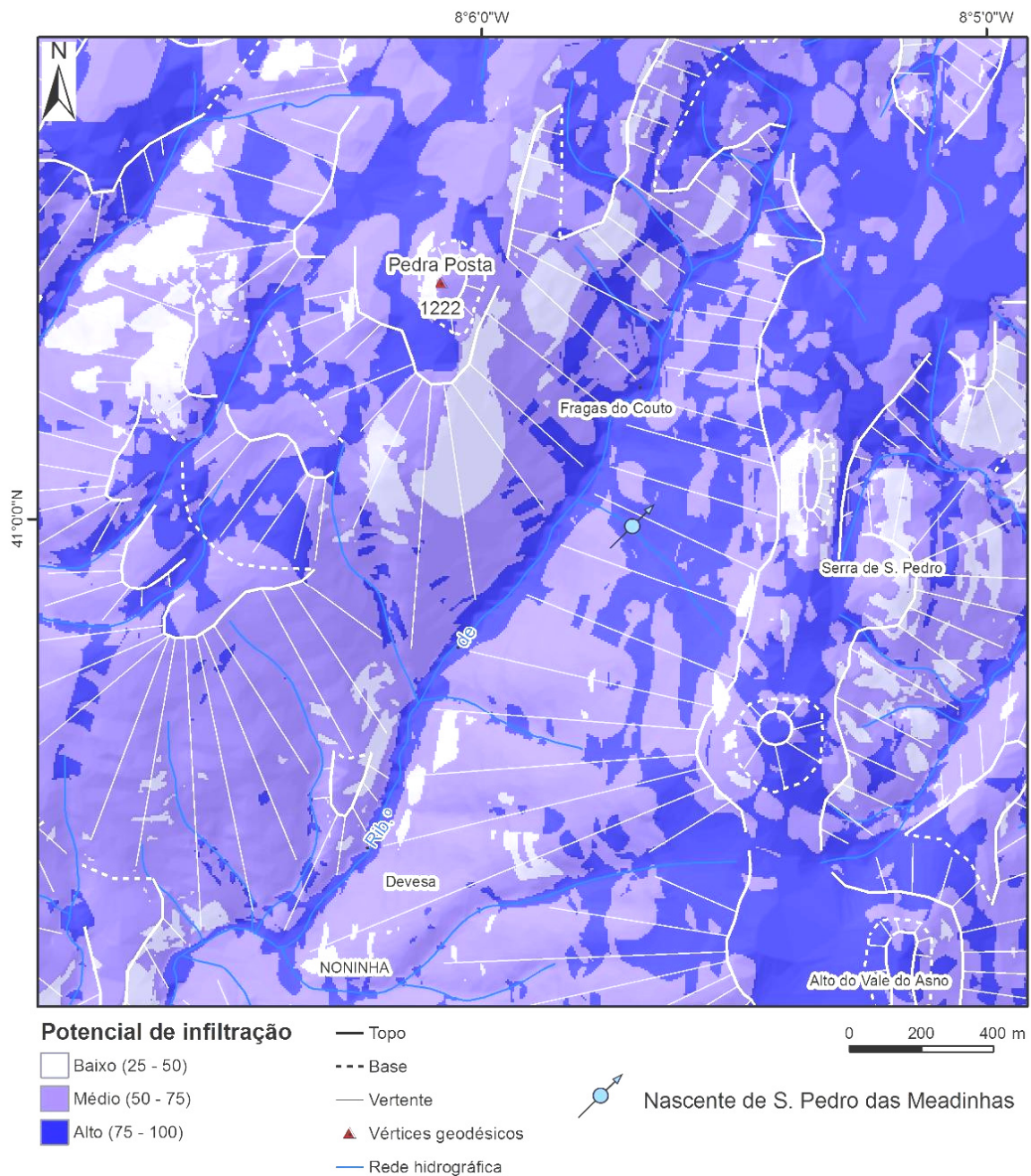


Figura 242 – Mapa hidrogeomorfológico da área da Noninha.





---

## **5.5. Pólo de Entre-os-Rios (Penafiel)**

### **5.5.1. Considerações iniciais**

O Pólo de Entre-os-Rios localiza-se nas imediações da área da Quinta da Torre, freguesia da Eja (Penafiel), com especial enfoque na área de concessão hidromineral HM-23, Entre-os-Rios. Os estudos desenvolvidos no pólo assentaram numa perspectiva integradora dos aspectos hidrogeológicos, tectónicos e geomorfológicos da área da concessão de Entre-os-Rios e território envolvente, visando uma visão cartográfica actualizada que sustenta o refinamento do modelo conceptual hidrogeológico regional, com ênfase para o contributo da hidrogeomorfologia.

No pólo de estudo da área de Entre-os-Rios foi realizada uma série de investigações de campo ao nível das cartografias geológica e geomorfológica e da cartografia hidrogeológica. A informação foi cruzada, nomeadamente, com a interpretação fotogeológica, geológico-estrutural e morfotectónica à escala regional (nomeadamente, 1/200.000, 1/50.000, 1/25.000) e local (1/10.000). Os resultados ora apresentados correspondem aos estudos desenvolvidos no âmbito desta investigação, retomando-se também dados inéditos do trabalho de síntese cartográfica elaborados pelo LABCARGA (2009), no qual o signatário desta dissertação participou activamente, desde os trabalhos de campo aos trabalhos de síntese cartográfica executados em gabinete, bem como, na redacção do respectivo relatório, coordenado pelo Prof. H. I. Chaminé, em articulação com a Directora Técnica de Exploração (Prof. Maria José Afonso) e o Consultor da Fundação INATEL (Prof. J. Martins Carvalho).

Numa primeira fase das investigações caracterizou-se o local através de critérios topográficos e morfoestruturais (escarpas ou taludes com orientações preferenciais, compartimentos basculados ou soerguidos, desnivelamento altimétrico de superfícies topográficas aplanadas, vales rectilíneos, análise do padrão de drenagem adaptado à estrutura, etc.). Numa fase posterior, realizou-se a caracterização da área de estudo através de critérios geológicos e tectónicos (contactos tectonizados, bandas de alteração, faixas de cisalhamento, caixas de falha, etc.), o que conduziu à elaboração de um esboço geológico-estrutural, um esboço morfotectónico e o estudo cartográfico que culminou na execução de um mapa hidrogeológico local. Definido o modelo geotectónico para a região, o passo seguinte consistiu no reconhecimento e posicionamento das estruturas hidrogeológicas suspeitas de condicionarem a circulação hidromineral e qual o contributo que a hidrogeomorfologia poderá ter na proposta de um modelo hidrogeológico conceptual.

---

Do ponto de vista histórico, as Termas de Entre-os-Rios (ou *Estância da Torre*) situadas no lugar da Torre (Eja – Penafiel) são conhecidas, pelo menos, desde meados do Século XVI (consultar, por exemplo, os magníficos escritos de Ramalho Ortigão, 1875; Baptista, 1884; Ferreira da Silva, 1908; Baptista, 1912; Acciaiuoli, 1952/53). Estas termas são constituídas por quatro grupos de nascentes sulfurosas sódicas e hipossalinas, a saber: i) Torre (“nascente nobre”); ii) Ardias; iii) Casas Novas; iv) Curveira. Tal como reporta Baptista (1912), são todas águas frias, mas variando as temperaturas, segundo as nascentes, desde 19,4°C (Biquinha) até 13,5°C. A cerca de 2,5 km a Norte das Termas de Entre-os-Rios situam-se as Termas de S. Vicente conhecidas também pelo nome de Campo da Junqueira ou Lameiro de Lodos e historicamente constituídas por duas nascentes sulfurosas carbonatadas sódicas e muito silicatadas, donde só uma delas se encontra em exploração (Acciaiuoli, 1952/53).

O estudo apresentado pela empresa A. Cavaco (1987) incidiu numa área de 3 km<sup>2</sup> em torno das Termas de Entre-os-Rios. Nele é apresentado o resultado de diversas campanhas de campo, que levaram à elaboração de uma carta hidrogeológica de pormenor, à escala 1/10.000 e que apresenta já algum refinamento relativamente ao traço cartográfico das cartas geológicas (à escala 1/50.000) da região. É apresentada também uma carta relativa ao exaustivo inventário hidrogeológico realizado, bem como uma série de análises físico-químicas das águas. Em 1990, a mesma empresa apresenta um novo estudo (A. Cavaco, 1990), dando conta dos trabalhos realizados na execução de dois furos de prospecção e pesquisa, localizados através do estudo de A. Cavaco (1987) e de outro, datado de 1989 (A. Cavaco, 1989), onde eram apresentados os resultados do levantamento geofísico recomendado no estudo de 1987. Em 2003, a empresa Geosurveys (2003) apresenta um relatório onde dá conta, sobretudo, dos trabalhos de levantamento geofísico, nomeadamente através de métodos geoelectricos. De referir que, neste estudo, foram subestimados os levantamentos geológicos anteriores, apresentando apenas um esboço geológico resultante dos levantamentos de campo, à escala 1/5.000. O esboço apresentado aparenta ser um desenho muito generalista dos contactos litológicos da área, e, apesar de ser apresentado numa escala de maior pormenor, ignora algumas das evidências litológicas reveladas pelo estudo da A. Cavaco (1987) e pela cartografia geológica regional publicada pelos Serviços Geológicos de Portugal (Medeiros, 1963, 1963), e reconfirmados, na generalidade, na cartografia apresentada pelo LABCARGA (2009). Em 2008, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) apresentou um relatório relativo às condições geoambientais das águas na área envolvente ao Pólo Termal de Entre-os-Rios, em que, no seu enquadramento geológico, é retomada a informação básica do mapa geológico do relatório A. Cavaco (1987). Neste relatório (LNEC, 2008) são apresentados os trabalhos de

---

prospecção geofísica realizada, os trabalhos de prospecção hidrogeológica (incluindo um exaustivo inventário hidrogeológico de campo) e uma caracterização e avaliação da qualidade das águas, solos e sedimentos da área. Já em Outubro de 2009 é apresentado pelo LABCARGA (2009) um relatório, onde é feita uma síntese cartográfica actualizada das cartografias geológica, geomorfológica e hidrogeológica da região envolvente às Termas de Entre-os-Rios, retomando alguns dos dados dos trabalhos anteriormente referenciados, bem como os relativos aos trabalhos de campo desenvolvidos nesta fase. O signatário da presente dissertação esteve intensamente envolvido nos estudos anteriores de investigação desenvolvidas pelo LABCARGA (2009), tendo inclusivé alargado, posteriormente a 2009, a área de reconhecimento geológico/geomorfológico e de inventário hidrogeológico. Estes dados inéditos são incorporados e sintetizados neste estudo. Esta área foi objecto de investigação, pela nossa parte, durante o desenvolvimento do projecto TERMARED no LABCARGA durante o período 2009 a 2011 (TERMARED, 2011).

O Concelho de Penafiel ocupa uma área de 212,2 km<sup>2</sup> do interflúvio formado pelo Rio Douro, pelo Rio Tâmega e pelo Rio Sousa e integra a Comunidade Urbana do Vale do Sousa, NUT III Tâmega, na região Norte de Portugal. Do Concelho fazem parte 38 freguesias, com uma densidade populacional de 338,4 hab./km<sup>2</sup> (INE, 2002), num total de cerca de 72.000 habitantes.

A área de concessão consignada às Termas de Entre-os-Rios situa-se na localidade da Torre, na freguesia de Eja, no Concelho de Penafiel e no Distrito do Porto. A área da concessão é de 96,6 ha, coincidente com a zona de protecção intermédia do Perímetro de Protecção da captação Barbeitos, sendo a zona de protecção alargada de 241,8 ha.

A área envolvente às Termas de Entre-os-Rios é dominada pelo vale encaixado da Ribeira de Matos, bem como, por uma menor área, mas de encaixe também bastante pronunciado, drenada pela ribeira das Ardias. Para Norte das Termas de Entre-os-Rios, nomeadamente, a partir das proximidades da Curveira, o vale da Ribeira de Matos torna-se amplo, e de fundo aplanado, contrastando claramente com as vertentes encaixadas dos rios Tâmega e Douro, e de algumas ribeiras suas tributárias (figura 243 e figura 244).

O vale da Ribeira de Matos é atravessado, sensivelmente no sentido N-S, pela Estrada Nacional EN106, que liga a EN108, desde a povoação de Entre-os-Rios, à sede de Concelho e à Rede Nacional de Auto-Estradas, através da A4. As estradas nacionais secundárias e a rede de estradas e caminhos camarários são relativamente densos, tornando cessíveis praticamente todos os locais da área em estudo.

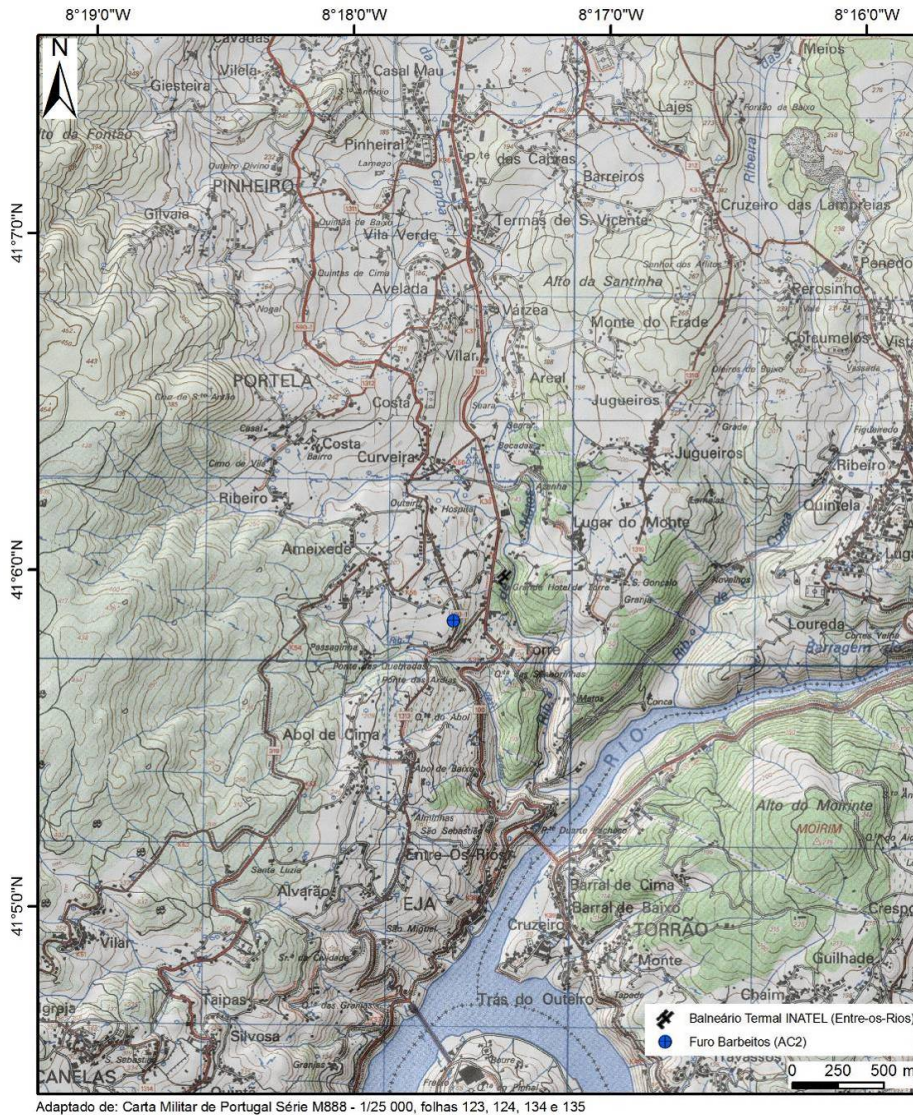


Figura 243 – Enquadramento topográfico da área das Termas de Entre-os-Rios.



Figura 244 – Aspecto geral da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios.

---

### 5.5.2. *Enquadramento geológico local*

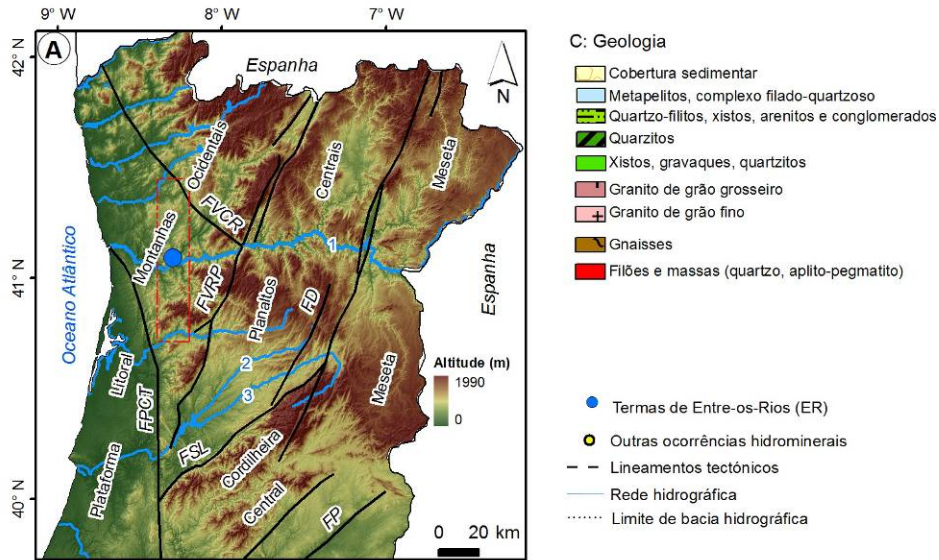
Como elementos de trabalho de base para a caracterização geológica, recorreu-se aos seguintes documentos cartográficos:

- ✓ Cartas geológicas, geomorfológicas e tectónicas gerais a escalas várias: 1/500.000 (5ª edição da “Carta Geológica de Portugal” de Oliveira et al., 1992; ‘Carte Géomorphologique du Portugal’ de Brum Ferreira, 1981b, e “Mapa de Fracturas” de Conde, 1983); 1/1.000.000 (“Carta Tectónica de Portugal” de Ribeiro et al., 1972 e “Carta Neotectónica de Portugal” de Cabral & Ribeiro, 1988; 1989); 1/50.000 (“Carta Geológica de Portugal”, folha 13-B: Castelo de Paiva de Medeiros, 1963, e folha 9-D: Penafiel de Medeiros et al., 1981).
- ✓ Fotografia aérea da região proveniente do IGeoE (escala aproximada: 1/25.000);
- ✓ Carta topográfica (“Carta Militar de Portugal”, escala 1/25.000, Série M888-Ed. 3, folha 135 - Castelo de Paiva e folha 124 - Marco de Canaveses, do IGeoE, 1997b, 1999c);
- ✓ Outros estudos de índole técnico-científica: A. Cavaco (1987; 1989; 1990), Geosurveys (2003), LNEC (2008), LABCARGA (2009), TERMARED (2011).

A geologia da região das Termas de Entre-os-Rios e área envolvente (figura 245 e figura 246) é dominada essencialmente por rochas graníticas. As rochas filonianas representam apenas uma pequena parte da área em estudo, e encontram-se dispersas na mancha granítica. Os depósitos sedimentares apresentam, à escala regional, uma fraca representatividade, estando presentes apenas no fundo dos vales das ribeiras de Camba e das Lages. As rochas metassedimentares estão apenas representadas por uma pequena mancha, no extremo SW da área de estudo.

As rochas sedimentares, nomeadamente os depósitos aluvionares e as cascalheiras fluviais, surgem ao longo dos cursos de água e, especialmente, onde os seus vales se alargam e o seu leito se torna mais aplanado. Correspondem, normalmente, a depósitos de materiais argilo-arenosos, nos quais se podem encontrar, por vezes, calhaus rolados. Apresentam reduzida expressão cartográfica, à escala apresentada, surgindo apenas nos vales das ribeiras de Camba e de Matos, e na ribeira das Lages (figura 247).

As rochas metassedimentares, nomeadamente as corneanas pelíticas, ocupam também uma pequena área, e estão localizadas apenas no extremo SW da área de estudo. As corneanas correspondem ao flanco oriental do Anticlinal de Valongo, formando uma extensa faixa, na passagem dos xistos ardósíferos para o granito. Apresentam-se em regra, alteradas superficialmente. Quando são, apresentam cor escura, sendo rochas duras e compactas (Medeiros et al., 1963; 1980).



Principais mega-estruturas regionais:  
 FPCT – Faixa de Cisalhamento Porto-Coimbra-Tomar; FVCR – Falha Vigo-V. N. Cerveira-Régua; FVRP – Falha Verin-Régua-Penacova;  
 FBVM – Bragança-Vilarica-Manteigas; FSL – Falha Seia-Lousã;  
 FP – Falha do Pónsul; FD - Falha do Dão

1 - Rio Douro;  
 2 - Rio Dão;  
 3 - Rio Mondego.

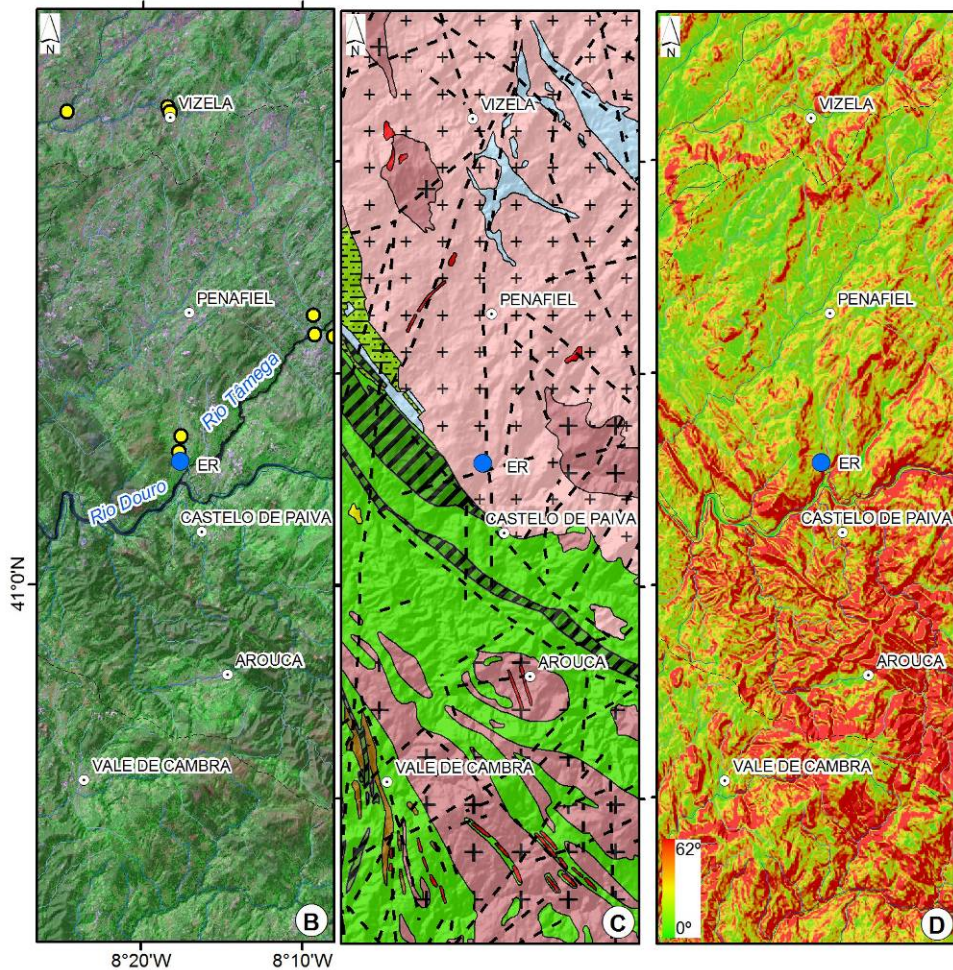


Figura 245 - Enquadramento regional da área de Entre-os-Rios.

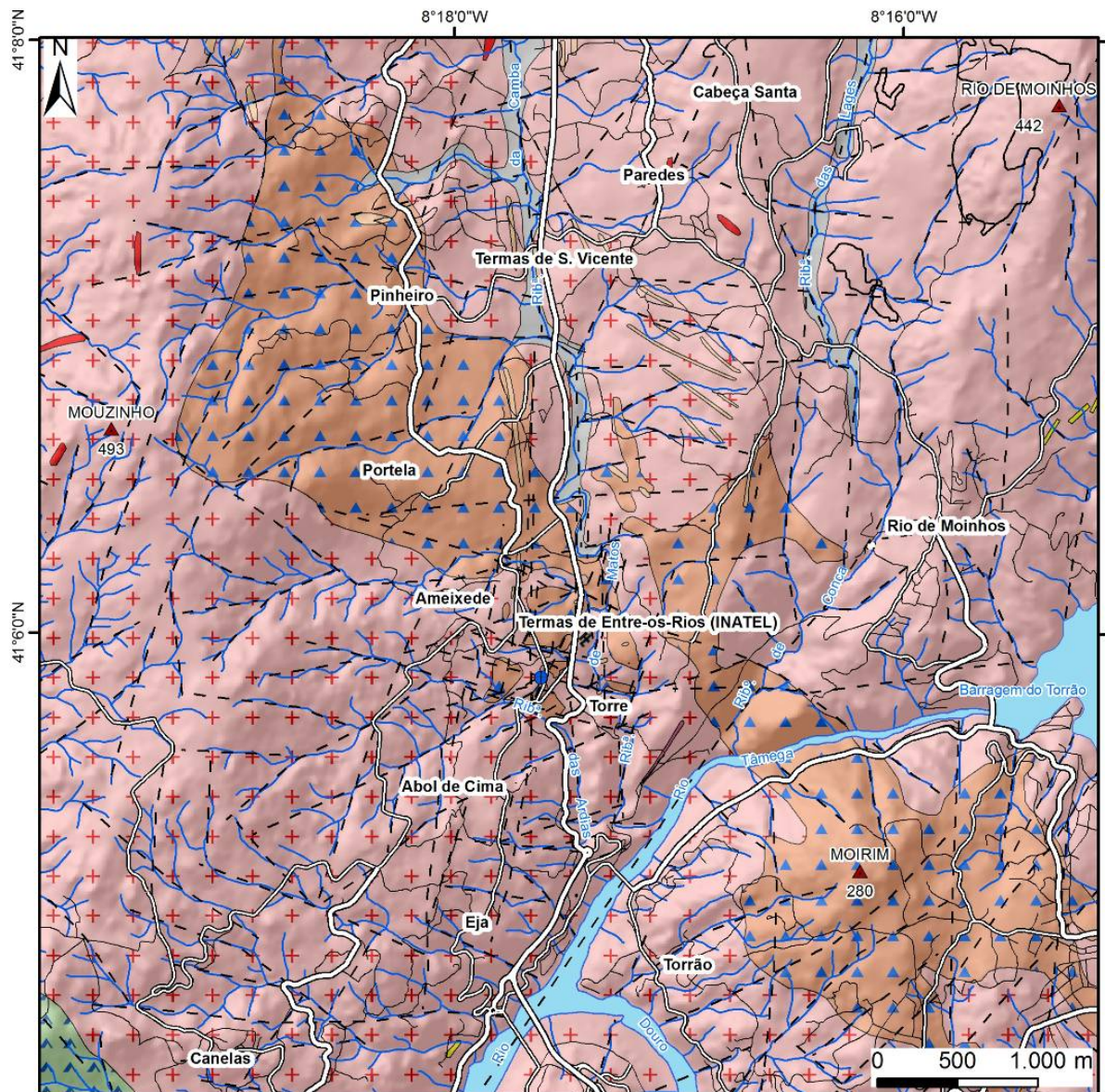
A) enquadramento morfotectónico regional; B) imagem de satélite (adaptada de Landsat 7 ETM+ 2000/01; bandas 7-4-5 = RGB) e nascentes hidrominerais (adaptadas de Carvalho 2006); C) relevo sombreado e geologia regional (adaptado de Oliveira et al., 1992); D) declives das vertentes.

---

As rochas graníticas presentes na área de estudo fazem parte de uma faixa de granitóides Variscos, com orientação geral NW-SE, que se estendem desde o Alto Minho até às Beiras. Do ponto de vista geotectónico a região insere-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI) do Maciço Ibérico (Pereira et al., 1989; Dias et al., 2000). Cerca de 98% da área corresponde a este tipo de rochas, as quais podem ser sintetizadas em três manchas principais e das quais se fará seguidamente uma descrição sucinta.

O granito monzonítico, porfiróide, de grão médio, de duas micas essencialmente biotítico, corresponde a uma extensa mancha, situada na área a NE do mapa em estudo, e contacta a SE, com a mancha dos granodioritos e do granito porfiróide, de grão grosseiro. O contacto, de contornos irregulares, toma uma direcção geral NW-SE, entre as localidades de Cabeça Santa e Rio de Moinhos, estendendo-se para lá dos limites do mapa, junto à barragem do Torrão. Os granodioritos e raros quartzodioritos biotíticos surgem numa faixa alongada, e com direcção geral NW-SE. Os contornos desta faixa apresentam-se muito irregulares, e, em geral, fazem a transição entre o granito de grão médio, já referido, e o granito de grão grosseiro. A unidade regional corresponde a um granito porfiróide, de grão grosseiro, de duas micas, essencialmente biotítico ocupando cerca de 40% da área em estudo, e faz a transição entre os dois tipos de granitos já referidos e as rochas metassedimentares, com as quais contacta no extremo SW do mapa.

As rochas filonianas estão instaladas um pouco por toda a área, no seio das massas graníticas. Assim, é possível identificar os seguintes filões e massas: i) *Filões aplíticos e aplito-pegmatíticos* – estes formam manchas mais ou menos irregulares, e sem alinhamento aparentemente definido, concentrando-se, no entanto, junto às povoações de Mouzinho e de Paredes / Cabeça Santa. ii) *Filões de quartzo* – surgem com uma orientação geral NE-SW, e apenas a NE de Rio de Moinhos, e um pequeno filão, a S de Eja. iii) *Filões de rocha básica (doleritos)* – na área de estudo, surge apenas o filão já referido por Medeiros & Teixeira (1963) e Medeiros et al. (1964), na margem direita do Rio Tâmega, a SE da Torre. É constituído por uma rocha fanerítica, holomelanocrática, de grão fino. iiiii) *Filões de microgranitos, de duas micas, essencialmente biotíticos* – correspondem a filonetes, com espessura quase sempre inferior a 0,5 m, e de cor cinzenta escura. Concentram-se na área entre Torre – Ameixede – Portela, e também em grande número, na área entre Pinheiro até a Sul de Paredes. Surgem, sobretudo, segundo as direcções N-S a NNE-SSW e NE-SW. O estudo de A. Cavaco (1987) refere que estas rochas podem condicionar a emergência das águas minerais, ao contrário da abordagem mais simplista, apresentada por Geosurveys, 2003, que descarta qualquer interferência da litologia na emergência das referidas águas.



Base topográfica: Carta Militar de Portugal Série M888 - 1/25 000, folhas 123, 124, 134 e 135  
 Base geológica adaptada e reinterpretada de: Pereira et al., 1989; Medeiros et al., 1981 e Medeiros, 1963  
 Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss referidas ao Ponto Central

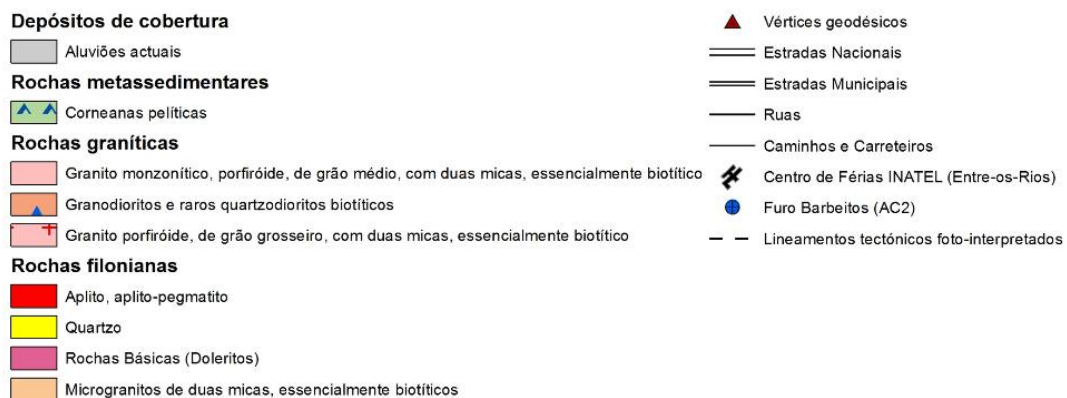


Figura 246 – Esboço geológico regional da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios.



---

A estruturação do maciço apresenta-se, à escala regional (figura 247), dominada por três conjuntos de sistemas de falhas regionais e fracturas, que, por constituírem linhas de fragilidade do maciço rochoso, a rede hidrográfica aproveita claramente para sua instalação, escavando vales encaixados, por vezes profundos. Em geral, os vários sistemas apresentam-se verticais a subverticais. O primeiro sistema, com direcção aproximada N-S a NNE-SSW, surge bem representado em toda a área, sendo bons exemplos os vales da Ribeira de Camba e Ribeira de Matos, a Ribeira das Lages e ainda o troço terminal da Ribeira das Ardias. A Ribeira de Conca e o troço final do Rio Tâmega são o exemplo mais flagrante do aproveitamento da rede de fracturas para instalação dos cursos de água, nomeadamente do sistema mais discreto com orientação aproximada NE-SW. Surge, ainda, outro sistema de fracturação regional segundo a direcção NW-SE a WNW-SSE. Conforme apontam os vários estudos (A. Cavaco, 1987, Geosurveys, 2003, LABCARGA, 2009), poderá ser no cruzamento de falhas e fracturas com esta direcção, mais especificamente as mais próximas de E-W, com as de direcção NNE-SSW que se dará a ocorrência das águas minerais.

Em termos geológicos locais, foi necessário refinar o traço cartográfico dos limites litológicos apresentados na figura 246. Assim, foram realizadas diversas campanhas de campo, nas quais foram usadas como base de trabalho a cartografia anteriormente produzida (figura 246) à escala 1:25.000, bem como os estudos anteriormente referidos de A. Cavaco (1987) e Geosurveys (2003). Por se considerar ser a base cartográfica mais rigorosa e realista fruto dos reconhecimentos preliminares de terreno, optou-se por usar o estudo A. Cavaco (1987) como base de trabalho dos levantamentos de campo, juntamente com a base topográfica 1:25.000. Os contactos litológicos foram registados com recurso a um GPS Trimble de alta precisão (inferior a 50 cm). Os dados recolhidos estão sintetizados na figura 248.

A revisão da cartografia geológica da área de concessão HM-23 permitiu constatar (e confirmar os trabalhos de pormenor anteriores, especialmente os de A. Cavaco, 1987 e de Geosurveys, 2003) i.e., que a área é constituída por granitóides, sendo possível destringir, fundamentalmente, três tipos: i) Granodioritos e quartzodioritos; ii) Granitos porfiróides; iii) Microgranitos. Foram, ainda, reconhecidos, mas sem representatividade cartográfica regional e/ou local, filões e/ou filonetes de quartzo ou aplito-pegmatitos, os quais podem ter um papel hidrogeológico relevante. Há apenas a assinalar, fora da área de concessão HM-23 (no vale da ribeira da Camba), a ocorrência de depósitos aluvionares com significado cartográfico.

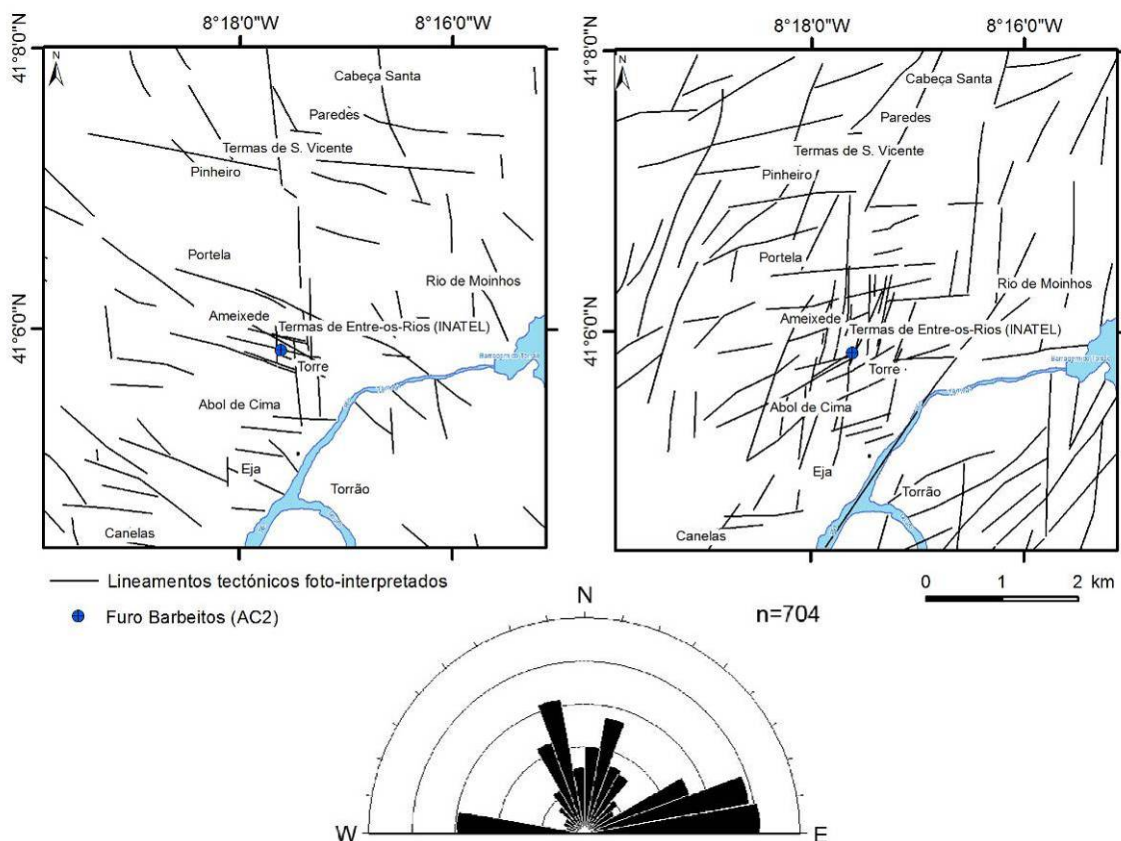


Figura 247 – Lineamentos tectónicos foto-interpretados, à escala regional, da área de Entre-os-Rios, para o quadrante NW (a) e NE (b).

As unidades geológicas mais importantes reconhecidas e cartografadas na área de estudo são (figura 248):

i) *Granodioritos e quartzodioritos biotíticos* — São rochas de grão fino a muito fino, de cor escura, e por vezes de textura porfíróde. A biotite predomina, em regra, sobre a moscovite. Em geral, estas rochas apresentam-se sãs a pouco alteradas ( $W_{1-2}$ ). Um aspecto desta litologia pode ser observado na foto 7, da figura 249, onde se observa o seu aspecto mesocrático, grão fino e raros megacristais (quartzo e/ou feldspato) que contrastam com a matriz muito fina e escura. Quando alteradas, em afloramento, distinguem-se por apresentar muitas vezes estruturas em disjunção esferoidal com cor acastanhada a negra. A reinterpretação do perfil do furo AC1, do relatório A.Cavaco (1990), leva-nos a crer que haverá confusão na interpretação do tipo de litologia atravessada, identificada como “microgranito”. Cremos que corresponderá ao granodiorito aqui referido, uma vez que, como se verá adiante, o microgranito corresponde a estruturas do tipo filoniano, e com corpos espacialmente muito reduzidos.

ii) *Granito porfíróide, de grão grosseiro, de duas micas, essencialmente biotítico* — Corresponde a uma importante mancha na região Sul e Este da área de estudo. É uma

---

rocha granítica, com textura porfiróide, de grão grosseiro (embora possa passar, localmente, a grão médio), de duas micas mas essencialmente biotítico. Os megacristais são de microclina, em geral albitizada e com micropertites (Pereira et al., 1992). A reinterpretção do perfil do furo AC2 (A. Cavaco, 1987), bem como a observação dos taludes na área de estudo permite inferir uma espessura no manto de alteração desta rocha entre os 10 e 15 m, com um grau de alteração que por vezes pode ser muito elevado ( $W_{4-5}$ ). É um granito, em geral, bastante fracturado, e por vezes deformado. Alguns aspectos deste granito podem ser observados nas fotos 1, 3, 5 e 8, da figura 249.

iii) *Microgranitos de duas micas, essencialmente biotíticos* — Correspondem a estruturas filonianas, com espessuras que não ultrapassam 0,5m. Apresentam um grão muito fino, e é notório o domínio da biotite, que lhes confere uma cor em geral escura a acinzentada, quando frescos. Por vezes, disseminados na massa quartzo-biotítica, surgem cristais de feldspato que podem atingir aos 2-3 cm de comprimento (foto 8, figura 249). Estes microgranitos parecem estar instalados em linhas de fragilidade estrutural do maciço, e como foi referido, poderão condicionar, em parte, a emergência das águas minerais.

O estudo dos contactos litológicos entre as duas manchas graníticas mais representativas (i.e., os granodioritos e quartzodioritos e o granito porfiróide) permitem tirar as seguintes ilações: i) o granito porfiróide é anterior aos granodioritos/quartzodioritos; ii) nas proximidades dos contactos a ocorrência de enclaves, por vezes de dimensões métricas, de granito porfiróide nos granodioritos; iii) a observação de megacristais corroídos de feldspato e quartzo nos granodioritos/quartzodioritos; iv) na maioria dos locais observados, o contacto entre as duas manchas graníticas é feito por falha geológica, ou por observação directa no terreno de caixas de falha ou zonas de esmagamento ou por observação indirecta através de critérios morfoestruturais. O perfil do manto de alteração pode atingir nestas zonas mais fracturadas grande desenvolvimento, de ordem métrica (ca. 3 a 12 m).

O maciço apresenta-se, à escala local (figura 250), dominado por três conjuntos de falhas e fracturas já referidos à escala regional, nomeadamente os sistemas N-S a NNE-SSW, NE-SW e NW-SE a WNW-ESE. A rede de drenagem apresenta, em regra, orientações coincidentes com as direcções principais dos lineamentos tectónicos.

Como foi anteriormente referido, não foi possível efectuar, na área das Termas de Entre-os-Rios e zona envolvente, a aplicação da técnica da amostragem linear para a caracterização estrutural, do grau de alteração e do grau de resistência do maciço rochoso. No entanto, da informação recolhida numa série de estações geológicas em que se procedeu aos reconhecimentos de campo (com o respectivo cruzamento e validação fotogeológica, em

---

gabinete), foi possível o registo geo-estrutural dos sistemas de descontinuidades (falhas, diaclases, fracturas), em regra subverticais, mais frequentes, a saber:

- *Sistema N-S a NNE-SSW* (N10°W a N25°E; sendo o intervalo azimutal mais frequente N0°-15°E): esboça um dos conjuntos mais importantes de famílias de descontinuidades cartografadas. Regista-se a ocorrência, na maioria das falhas observadas, estrias e/ou preenchimentos de minerais argilosos, bem como caixas de falhas e zonas de esmagamento de dimensão apreciável (0,50 a 1,50m). Este sistema materializa, por exemplo, o vale da Ribeira de Matos e a maioria das estruturas de microgranitos aflorantes;
- *Sistema NE-SW* (N45°E; sendo o intervalo azimutal mais frequente N40°-55°E);
- *Sistema NW-SE a WNW-ESE* (N45°-85°W; sendo o intervalo azimutal mais frequente N35°-80°W);
- A ocorrência de *descontinuidades horizontais a sub-horizontais*, com importância relevante para a compartimentação em grande do maciço rochoso. Os contactos, em regra, estão muito esmagados e alterados, denunciando um importante controlo estrutural.

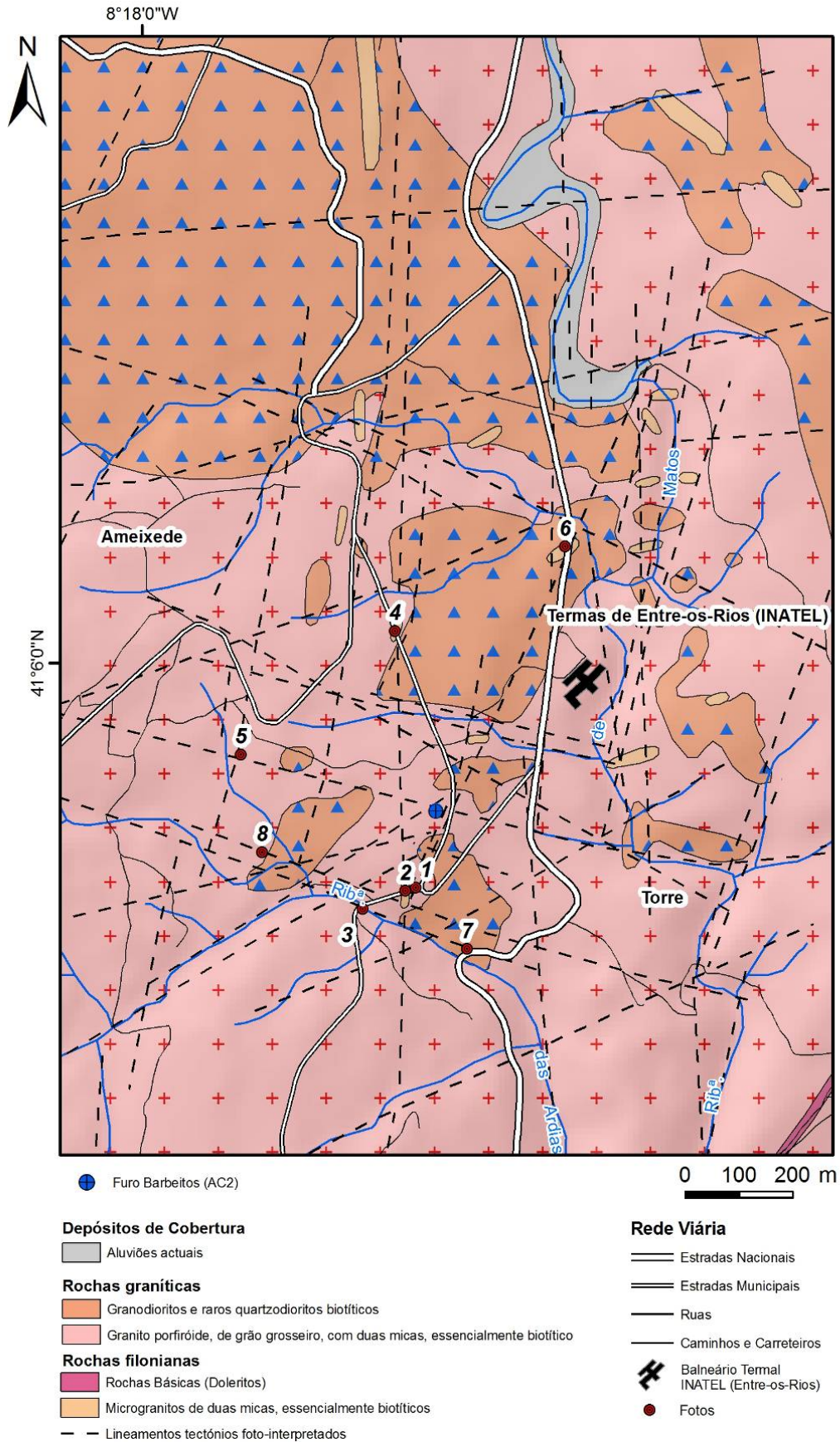


Figura 248 - Esboço da geologia local das Termas de Entre-os-Rios, com indicação da localização das fotos da figura 249).



Figura 249 – Texturas das diferentes litologias na área das Termas de Entre-os-Rios. 1 – granito porfiróide de grão grosseiro; 2 – microgranito, a Sul da Nascente da Torre; 3 - granito porfiróide de grão grosseiro, junto à ponte das Quebradas; 4 – microgranito a Este das Termas; 5 - granito porfiróide de grão grosseiro, junto a Ameixede; 6 – microgranito a Norte das Termas de Entre-os-Rios; 7 – granodiorito, junto à ponte das Ardias; 8 - granito porfiróide de grão grosseiro, no interior da mina do Inferno.

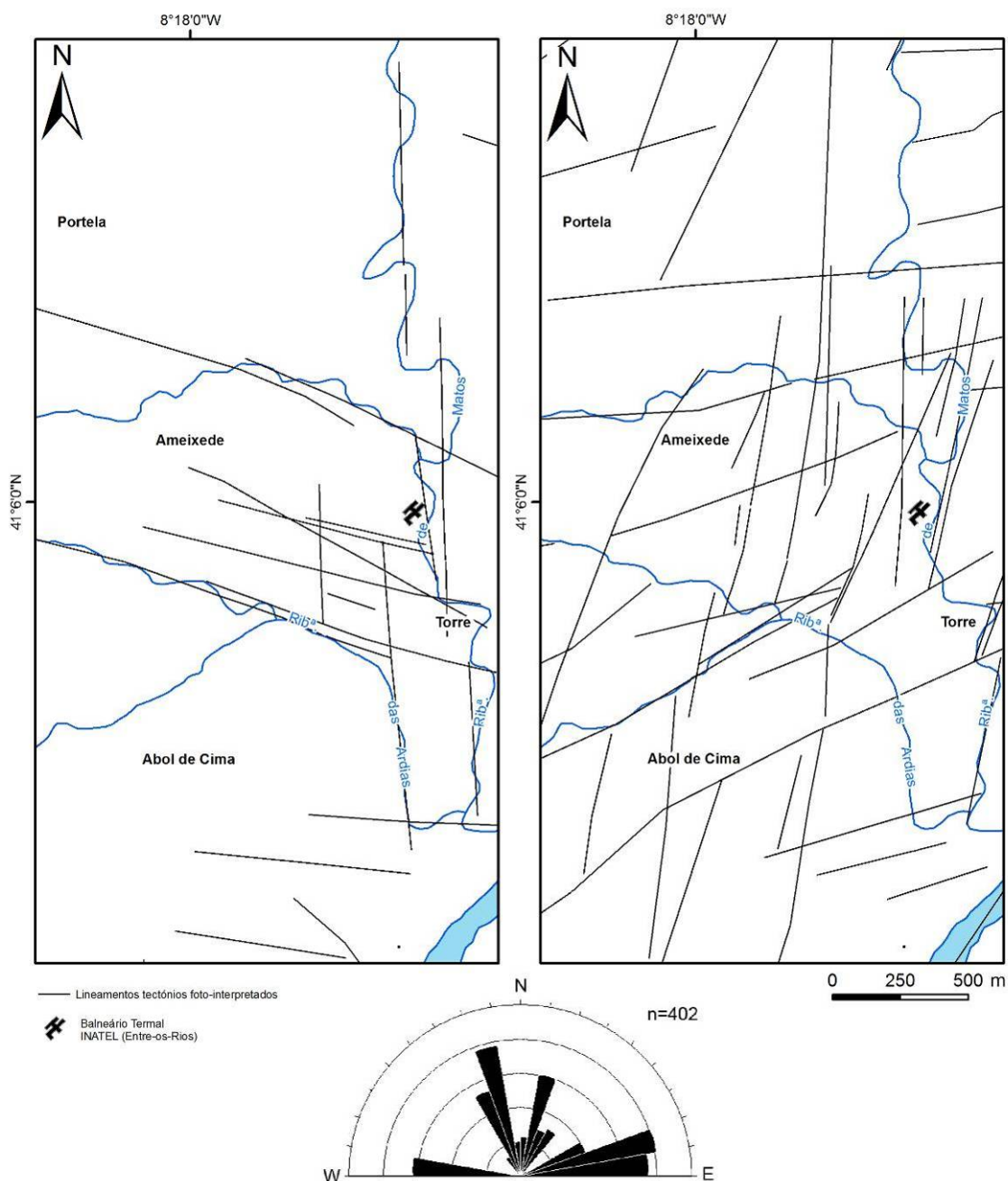


Figura 250 - Lineamentos tectónicos na área de Entre-os-Rios para os quadrantes Noroeste (a) e Nordeste (b).

O recurso hidromineral de Entre-os-Rios está condicionado pela litologia e pelas condições tectónicas, tal como enfatizado por estudos anteriores (A. Cavaco, 1987, Geosurveys, 2003, LABCARGA, 2009).

Desta forma, e de acordo com os resultados aqui apresentados, as nascentes clássicas (Torre, Arcos, Curveira e Ardiás) parecem estar na dependência dos contactos litológicos entre o granito porfiróide de grão grosseiro e os granodioritos/quartzodioritos de grão fino. Além disso, as estruturas das rochas micrograníticas parecem condicionar, igualmente,

---

algumas das emergências (em especial, Curveira e Ardias). Em termos geológico-estruturais, as águas minerais de Entre-os-Rios resultam da convergência dos seguintes sistemas de fracturação, a saber: i) corredor de fracturação regional N-S a NNE-SSW; ii) sistemas de fracturas de expressão regional ENE-WSW, iii) sistemas de fracturação discretos com orientação NE-SW e, iv) descontinuidades sub-horizontais que constituem um bom indicador do grau de compartimentação e potenciam o manto de alteração superficial. Localmente, à escala do afloramento, as nascentes minerais atrás referidas ocorrem em zonas de forte diaclasamento, na dependência de fracturação subvertical, N-S a N15°E e N60°-80°W. As evidências morfotectónicas sugerem o alinhamento das nascentes clássicas ao longo de uma escarpa de falha regional, com orientação N20°E; sendo o desnível topográfico na ordem dos 50 a 60 m.

Conjugando estas evidências geológicas e morfotectónicas (em especial, contactos litológicos tectonizados, convergência de sistemas de fracturação, controlo morfoestrutural) suspeitamos da existência de nós tectónicos que poderão constituir armadilhas hidrogeológicas para as águas minerais, as quais poderão ser alvo de futuros trabalhos de pesquisa e eventual captação de água mineral.

### **5.5.3. Enquadramento geomorfológico local**

A morfologia regional (figura 251 e figura 252) é dominada pela geometria dos acidentes tectónicos que serão os principais responsáveis pelo arranjo regional do relevo nesta área. Destaca-se um conjunto de falhas com direcções N-S a NNE-SSW que individualizam vários blocos montanhosos e que explicam o traçado rectilíneo da Ribeira de Camba, da Ribeira de Matos, e da Ribeira das Lages, bem como os seus vales encaixados junto da foz.

Obliquamente a estas direcções surgem lineamentos NW-SE que determinam a disposição em blocos escalonados de topo aplanado e que são quase exclusivamente entalhados pela rede hidrográfica secundária, a qual corresponde nalguns casos a vales de fractura alinhados, típicos do modelado granítico (Ribeiro et al., 1987). Tal como noutras regiões graníticas do Norte de Portugal a morfologia desta área é marcada pela conservação de superfícies de aplanamento, separadas por vertentes abruptas, quer se trate de flancos das elevações quer das vertentes dos vales. Por isso, os cursos de água apresentam um traçado geométrico que resulta da sua adaptação às faixas de esmagamento de falhas (Brum Ferreira, 1978; 1979).

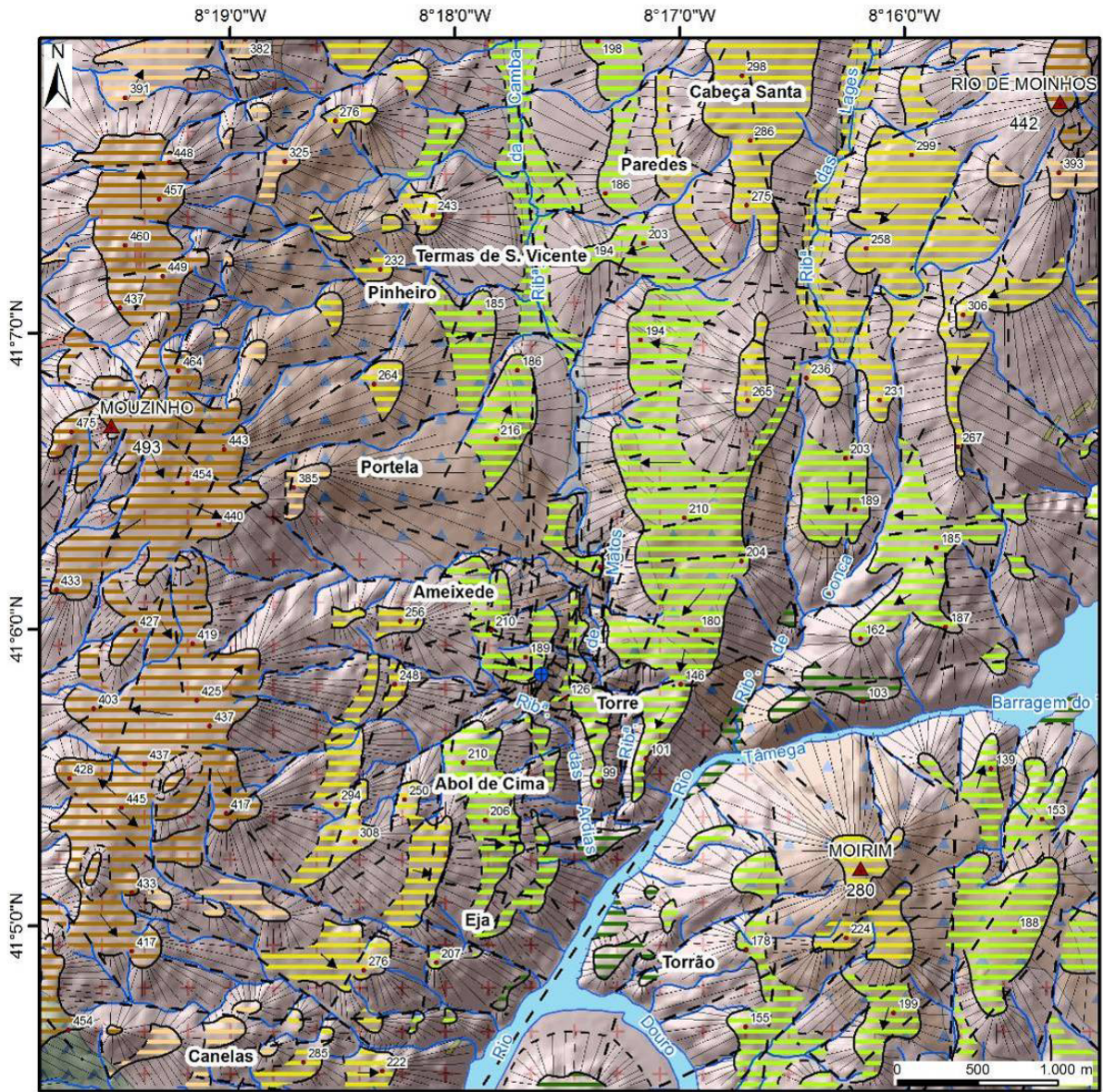




Figura 251 – Panorâmica geral da área das Termas de Entre-os-Rios (INATEL) e localização da Ribeira de Matos, Ribeira das Ardias e Furo AC2 – Barbeitos (adaptado de *Google Earth Pro*, 2009).

Merecem também referência as formas alveolares, que correspondem a áreas deprimidas de fundo aplanado, de dimensão quilométrica e de fraca incisão da rede hidrográfica, sendo os corredores deprimidos da Ribeira de Camba, a Oeste de Paredes e da Ribeira das Lages, a Este de Cabeça Santa, exemplos desse contexto geomorfológico. Estas formas comuns em substrato granítico correspondem a variações na natureza da rocha ou ao cruzamento de fracturas que facilitam a penetração de água e a alteração subsequente (Brum Ferreira, 1978; 1979). Os alvéolos estão quase sempre ligados à presença de rochas cristalinas e/ou cristalofilinas, o que sugere que a alteração diferencial terá sido determinante na geração destas formas.

A direcção da fracturação regional WNW-SSE parece também ganhar uma importância acrescida, separando contextos morfológicos distintos. A região onde se localizam as Termas de Entre-os-Rios parece estar localizada numa faixa de transição entre a área em que dominam as formas alveolares, a Norte, e uma área em que os cursos de água, mesmo que de pequena dimensão, revelam um poder erosivo muito forte, escavando vales muito encaixados, dos quais os vales da Ribeira das Ardias e de Matos são bons exemplos (figura 252).



Base topográfica: Carta Militar de Portugal Série M888 - 1/25 000, folhas 123, 124, 134 e 135  
 Base geológica adaptada e reinterpretada de: Pereira et al., 1989; Medeiros et al., 1981 e Medeiros, 1963  
 Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss referidas ao Ponto Central



Figura 252 – Esboço geomorfológico regional da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios.

Em termos geomorfológicos locais, dominam toda a morfologia os vales encaixados das Ribeiras de Matos e das Ardias (figura 253). As vertentes na área envolvente às Termas de Entre-os-Rios são, geralmente, pouco extensas, mas com declives acentuados, representando desníveis que por vezes podem ultrapassar os 100 m (figura 254). As áreas aplanadas apresentam pouca extensão na margem direita da Ribeira de Matos, estando dispostas em “escadaria”, e a diversas altitudes. Por outro lado, na margem esquerda, surge uma grande área aplanada, basculada em direcção a Sul, e que parece constituir uma unidade morfológica independente. A tectónica parece desempenhar um papel importante, quer no aproveitamento destas linhas de fragilidade pelos cursos de água (figura 255), quer no retalhamento e basculamento das superfícies aplanadas (figura 254).

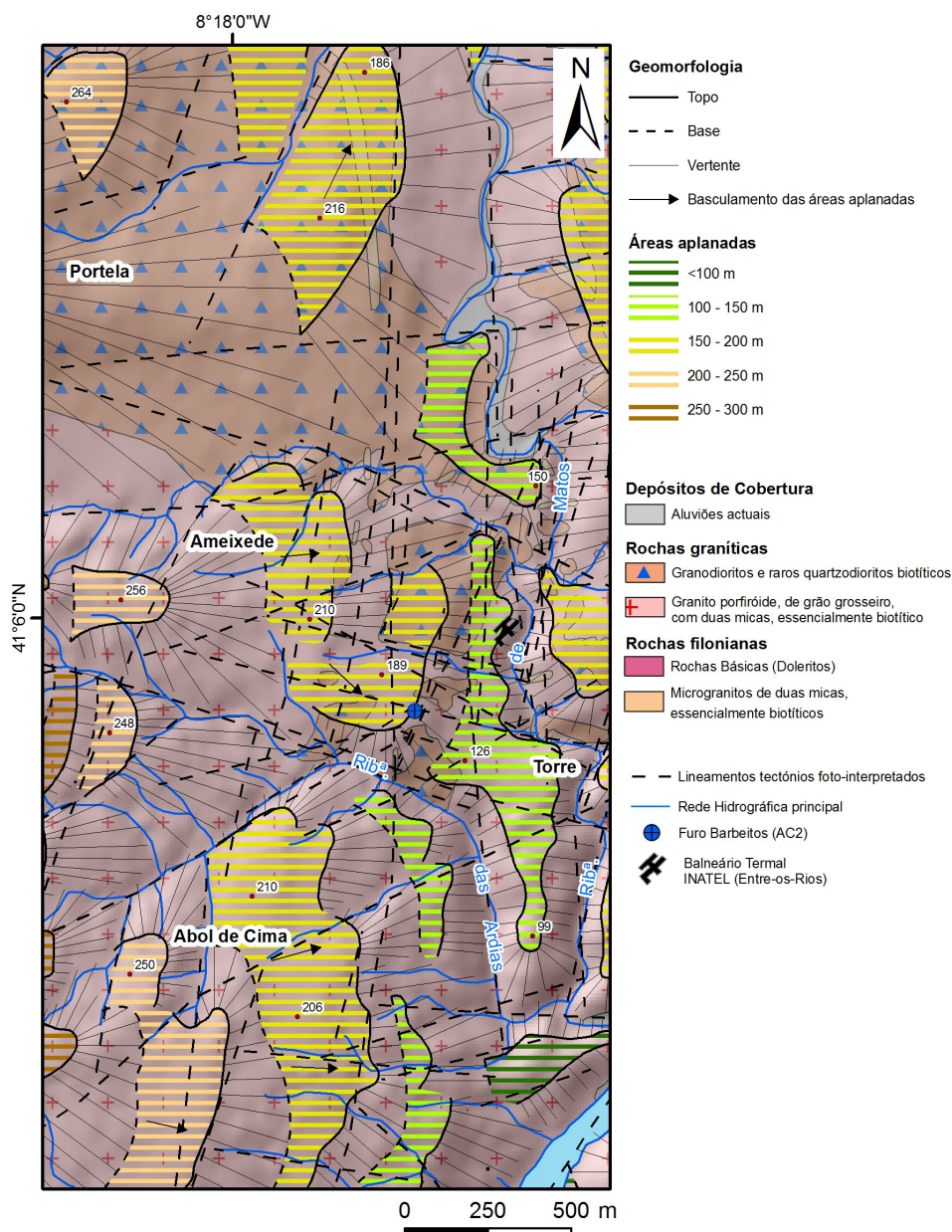


Figura 253 - Esboço geomorfológico de pormenor da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios.

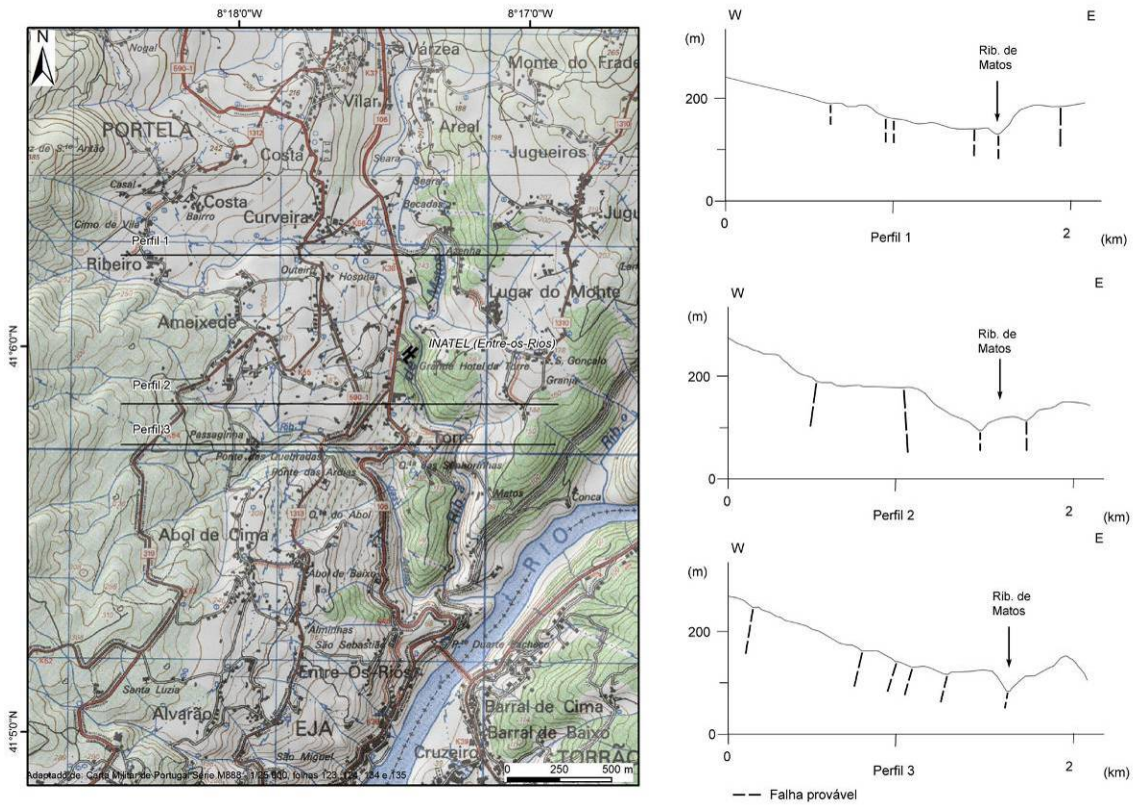


Figura 254 - Perfis topográficos sequenciais da área de Entre-os-Rios.

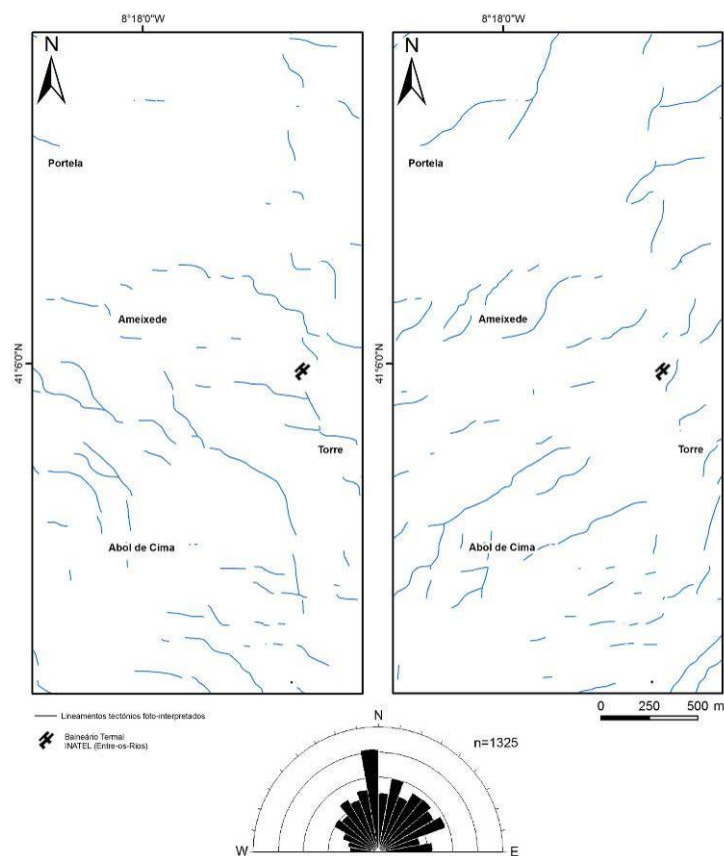


Figura 255 - Principais direcções da rede hidrográfica na área de Entre-os-Rios, para os quadrantes Noroeste, NW (a) e Nordeste, NE (b).

#### 5.5.4. Hidroclimatologia

Segundo a divisão de Portugal Continental em províncias climáticas, de Daveau et al. (1977) e Ribeiro et al. (1987; 1988), a região de Entre-os-Rios enquadra-se na região Centro de Portugal, na região continental e província Atlântica do Norte. Esta província caracteriza-se por um Verão fresco (20°C, em média), e um Inverno suave (média 8°C em Janeiro). A precipitação média anual é quase sempre superior a 1000 mm, mas apresenta geralmente dois meses secos com precipitações inferiores a 30 mm. Para a análise dos elementos climáticos relativos à caracterização climática local recorreu-se às diversas fontes de dados climáticos para a área envolvente às Termas de Entre-os-Rios, apresentadas no quadro 52, estando a sua distribuição geográfica representada na figura 256.

Quadro 52 - Dados climatológicos utilizados na caracterização climática local, da área das Termas de Entre-os-Rios.

Nº	Fonte	Estação	Altitude	Dados	Valor Médio	Nº Anos com dados	Distância	Representatividade
1	Mendes e Bettencourt, 1980	Entre-os-Rios	125 m	Temperatura	16,1	8	2 km	Baixa
				Precipitação	865 mm	8	2 km	Baixa
2	A. Monteiro, 2005	Penafiel (Eja, Qtª Abol)	140 m	Temperatura	15,0 °C	5	1 km	Baixa
				Precipitação	1708 mm	5	1 km	Baixa
3	A. Monteiro, 2005	Luzim	280 m	Temperatura	14,9 °C	19	7 km	Alta
				Precipitação	1311,5 mm	19	7 km	Alta
4	SNIRH (INAG)	Entre-os-Rios (INAG)	18 m	Temperatura	n.d.	n.d.	2 km	n.d.
				Precipitação	1160 mm	82	3 km	Muito alta
5	SNIRH (INAG)	Sobrado de Paiva	207 m	Temperatura	n.d.	n.d.	6,5 km	n.d.
				Precipitação	1219,5 mm	65	6,5 km	Alta
6	SNIRH (INAG)	Penafiel	175 m	Temperatura	n.d.	n.d.	12 km	n.d.
				Precipitação	1545 mm	88	12 km	Alta

Os registos disponíveis são muito díspares em termos de regularidade temporal. A caracterização da precipitação apresenta conjuntos de dados mais extensos, nas estações pertencentes ao INAG (Entre-os-Rios, Sobrado de Paiva e Penafiel). As estações de Entre-os-Rios (1) e de Penafiel (Eja, Quinta do Abol — 2) apresentam séries de dados muito curtas, e com valores muito díspares, o que nos leva a crer que os dados terão sido recolhidos em anos anormalmente secos ou pluviosos, respectivamente.

No caso da temperatura média do ar, apenas a estação de Luzim apresenta dados passíveis de uma representatividade significativa. Não obstante, os valores das estações com poucos dados são semelhantes aos aqui registados para um período mais longo, com uma diferença na ordem de 1°C.

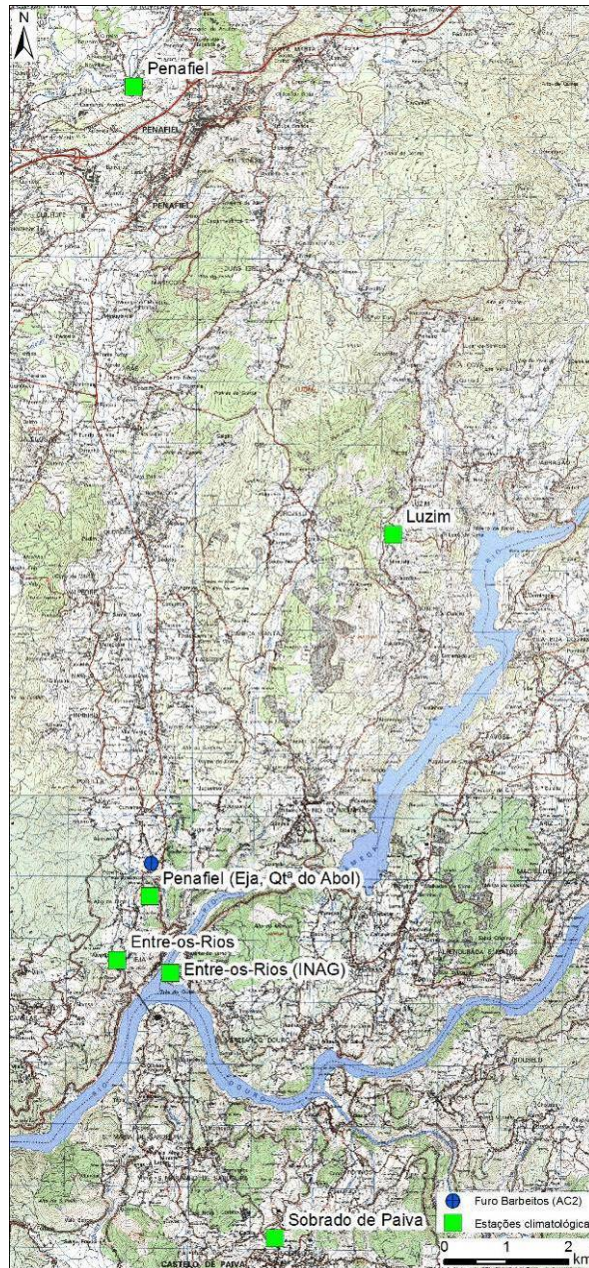


Figura 256 - Localização das estações climatológicas analisadas, na área envolvente das Termas de Entre-os-Rios.

Os valores de precipitação média mensal registados nas 4 estações permitem verificar contrastes acentuados ao longo do ano. Assim, as precipitações médias mensais acima de 140 mm registam-se nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro em todas as estações. A estação de Penafiel regista valores elevados de precipitação também nos meses de Fevereiro e Março. É de registar também o valor relativamente baixo da precipitação média mensal na estação de Luzim, no mês de Março (ca. 75 mm). Os meses mais secos registam-se em Julho e Agosto em todas as estações, com valores que raramente ultrapassam os 25 mm mensais (figura 257).

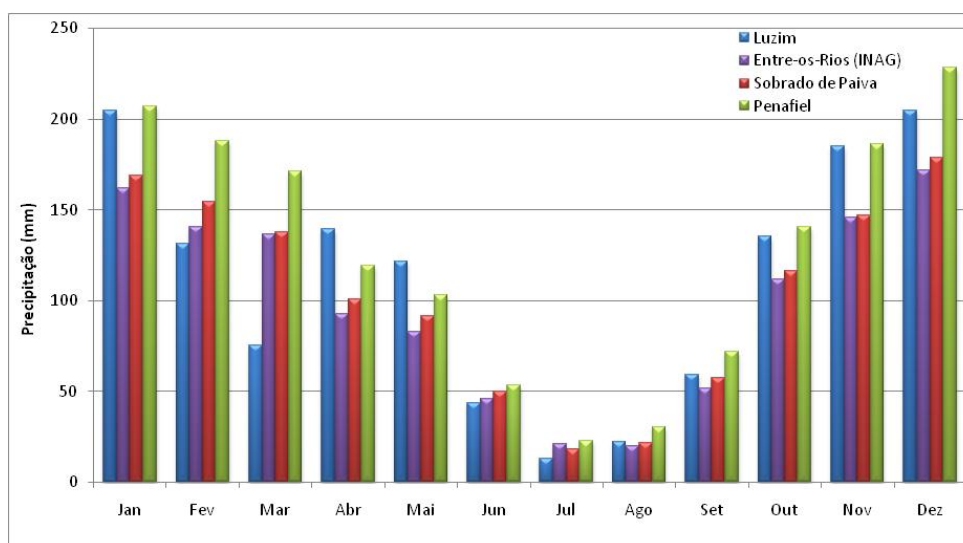


Figura 257 - Precipitação média mensal nas estações de Entre-os-Rios (INAG), Sobrado de Paiva, Penafiel e Luzim.

Os valores médios anuais registados nas estações mais representativas são concordantes com os valores de referência indicados pelo Plano de Bacia Hidrográfica (PBH) do Douro (INAG, 2001), que indicam valores médios para o sector Oeste da bacia do Douro (nomeadamente as sub-bacias do Sousa, Tâmega e Paiva), valores normalmente superiores a 1000 mm/ano, e que podem atingir os 1500 mm nas áreas mais elevadas. Este plano aponta valores de precipitação mais baixos junto à foz do Tâmega e do Paiva, com valores na ordem dos 1000 a 1200 mm/ano, devido à sua situação de abrigo relativamente às serras envolventes.

Para a análise da temperatura média do ar recorreu-se aos dados da estação climatológica de Luzim, os únicos representativos para a área existente, que dizem respeito ao período 1984-1998 (Monteiro, 2005). Esta estação apresenta os seguintes valores: a temperatura média anual do ar é de 14,1°C, com um valor mínimo no mês de Janeiro (7,9°C) e um valor máximo no mês de Julho (21,1°C). Constata-se, através do diagrama termopluviométrico da Figura 258, que o período seco na região corresponde aos meses de Julho e Agosto.

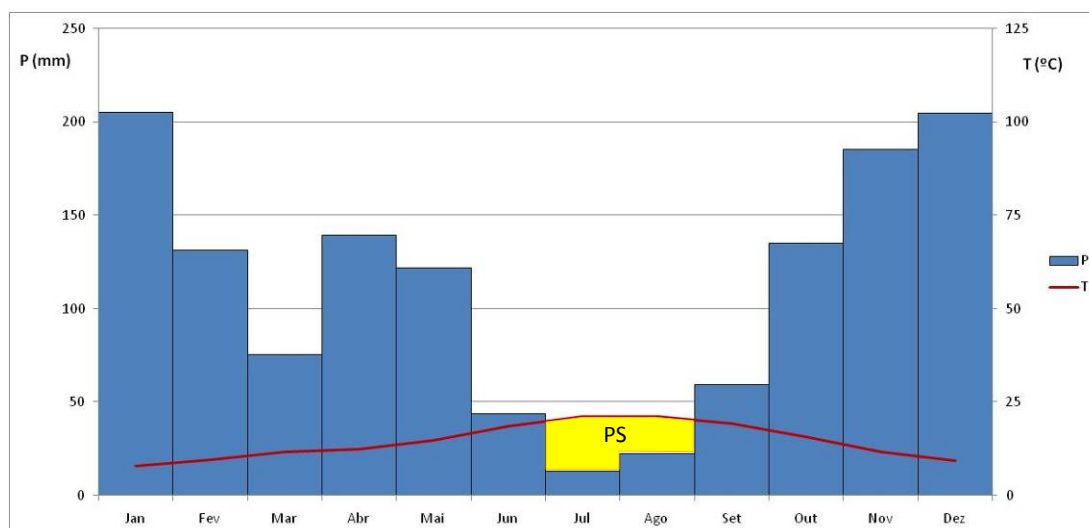


Figura 258 - Diagrama termo-pluviométrico da estação climatológica de Luzim (P – Precipitação, mm; T - Temperatura, °C; PS – Período Seco).

Relativamente ao balanço hidrológico sequencial mensal realizado através do método de Thornthwaite & Mather (1955), e tal como para a análise anterior, recorreu-se aos dados da estação climatológica de Luzim, para o período 1984-1998 (Monteiro, 2005). A partir dos dados de precipitação e de temperatura foi calculada a evapotranspiração potencial, com base na fórmula de Thornthwaite (1948), a qual se cifra em 627 mm. Na figura 259 e no quadro 53 apresenta-se o balanço hidrológico calculado, para o qual se considerou uma capacidade utilizável de 150 mm.

Quadro 53 - Termos do balanço hidrológico sequencial mensal relativos à estação climatológica de Luzim (capacidade de água utilizável de 150mm).

Meses	T	P	ETP	P-ETP	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	°C	mm	Thornthwaite, 1948	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	7,9	204,8	11,0	193,8	150,0	0,0	11,0	0,0	193,8
Fev	9,6	131,1	14,0	117,1	150,0	0,0	14,0	0,0	117,1
Mar	11,7	75,2	29,0	46,2	150,0	0,0	29,0	0,0	46,2
Abr	12,3	139,2	41,0	98,2	150,0	0,0	41,0	0,0	98,2
Mai	14,9	121,5	67,0	54,5	150,0	0,0	67,0	0,0	54,5
Jun	18,7	43,4	90,0	-46,6	109,9	-40,1	83,5	6,5	0,0
Jul	21,2	13,0	110,0	-97,0	57,6	-52,4	65,4	44,6	0,0
Ago	21,1	22,4	102,0	-79,6	33,9	-23,7	46,1	55,9	0,0
Set	19,2	59,3	75,0	-15,7	30,5	-3,4	62,7	12,3	0,0
Out	15,7	135,1	51,0	84,1	114,6	84,1	51,0	0,0	0,0
Nov	11,7	185,1	23,0	162,1	150,0	35,4	23,0	0,0	126,7
Dez	9,3	204,6	14,0	190,6	150,0	0,0	14,0	0,0	190,6
<b>Total</b>		1334,7	627,0	707,7	1396,5	0,0	507,6	119,4	827,1
<b>Média</b>	14,4		52,3	59,0	116,4		42,3	10,0	68,9

T - Temperatura; P - Precipitação; ETP - Evapotranspiração Potencial; ARM - Armazenamento, ALT - Alteração; DEF - Déficit; EXC - Excedentes



Assim, a evapotranspiração real (ETR) calculada é de 507,6 mm, o valor do déficit hídrico (DH) é de 119,4 mm e o valor dos excedentes hídricos (SH) é de 827,1 mm. Para a sub-bacia do Tâmega, e para uma área total de 2649,2 km<sup>2</sup>, o INAG, 2001 aponta valores indicativos um pouco mais elevados de ETR (617,8 mm) e de DH (353 mm). No entanto, o valor dos excedentes hídricos, SH, é concordante com o valor anteriormente apresentado (825,4 mm).

Verifica-se, assim, a existência de importantes excedentes hídricos para a recarga profunda dos aquíferos. Essa circunstância é apoiada pelos trabalhos de Carvalho et al. (2000) e Carvalho (2006). Considerando estes autores taxas de infiltração de 15%, estas conduziriam a infiltrações de cerca de 200 mm, compatíveis com os excedentes calculados. Contudo, a recarga profunda (Carvalho, 2006) não deverá ultrapassar 3%, isto é, cerca de 40 mm.

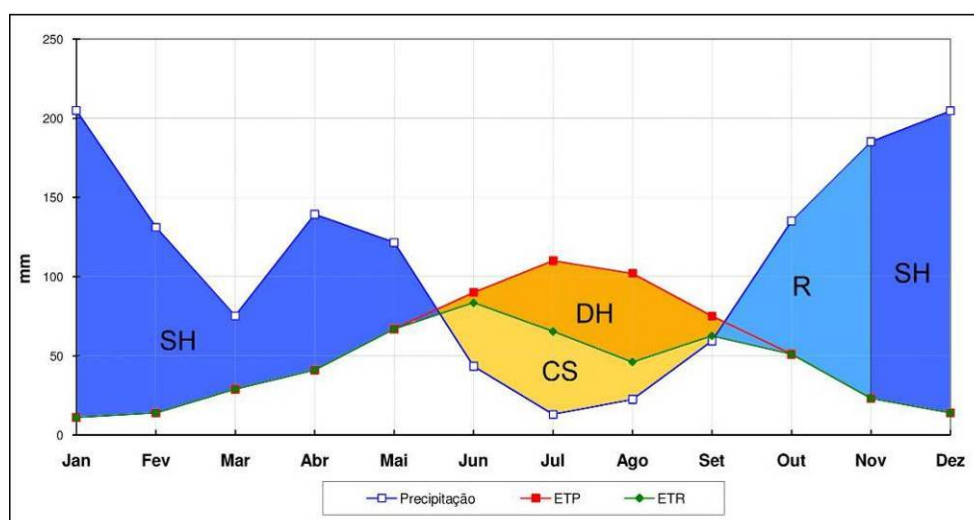


Figura 259 - Balanço hidrológico sequencial mensal relativo à estação climatológica de Luzim (SH – Excedentes hídricos; DH – Déficit hídrico; CS - cedência de água pelo solo; R – Reposição de água no solo).

## 5.5.5. Condições hidrogeológicas

### 5.5.5.1. O inventário hidrogeológico

O inventário hidrogeológico ora apresentado foi realizado ao longo de várias campanhas de campo, ocorridas entre Setembro e Dezembro de 2008 e complementarmente entre 2009 e 2011 em locais específicos. No total, foram inventariados 92 pontos de água (figura 260 e quadro 54) durante a campanha de campo. O inventário incidiu sobretudo nos seguintes pontos de água ou estruturas, a saber: nascentes, minas, poços, furos e águas superficiais (ribeiras, linhas de água secundárias).

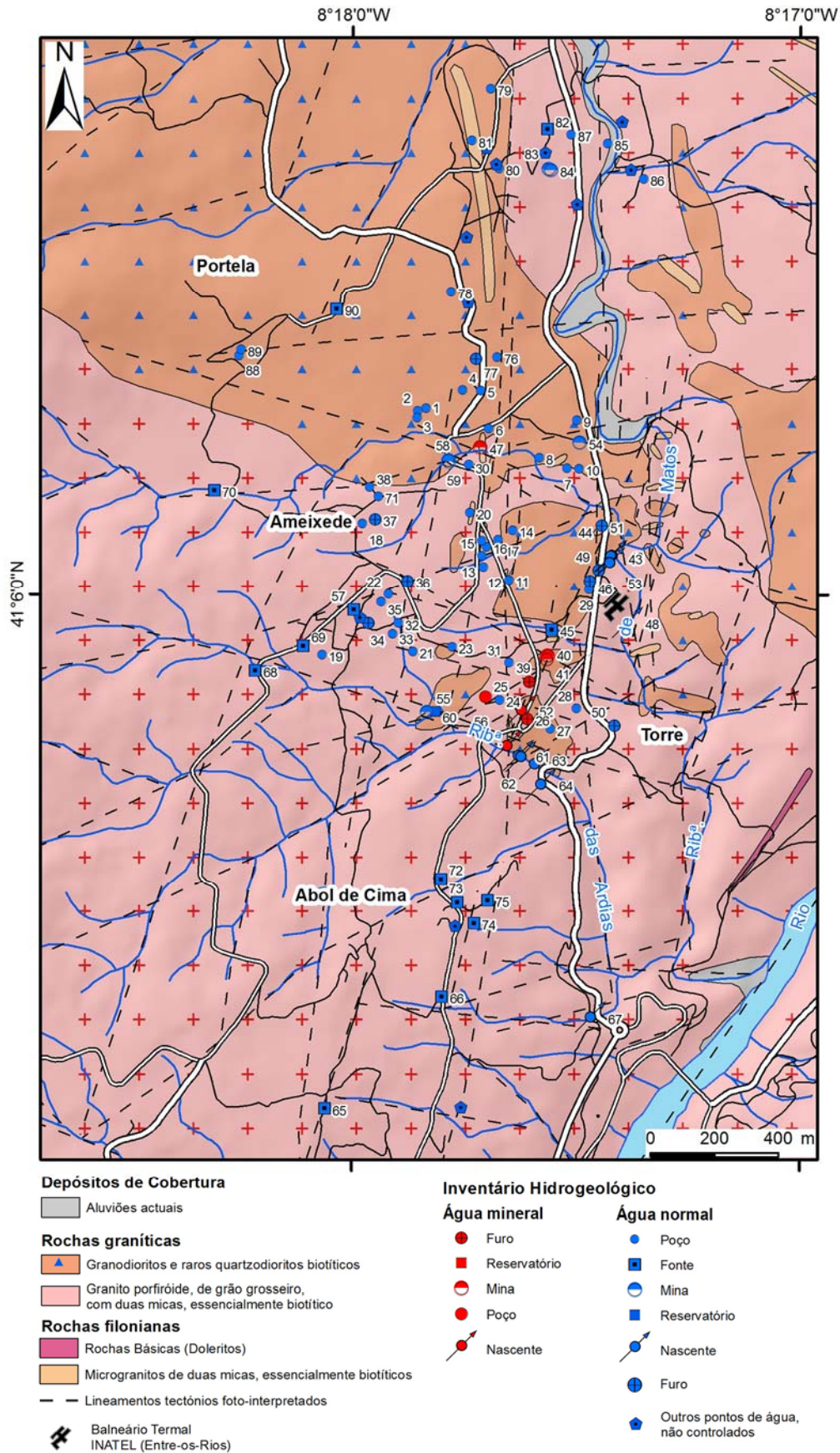


Figura 260 – Inventário hidrogeológico de campo da área das Termas de Entre-os-Rios.

Quadro 54 - Quadro resumo dos pontos de água inventariados durante a campanha de campo (cf. figura 151 e anexo 7).

Nº Inv.	Designação	Tipo	Proprietário:	Data	Hora	Temp. Água (°C)	Temp. Ar (°C)	pH	Cond. Eléctrica (us/cm)	Profundidade (m)	Diâmetro (m)	Tipo de entubamento	Nível dinâmico (m)	Observações
1	Poço D. Rosa	Poço	D. Rosa (Manuel S. Santos)	12-11-2008	14:10:00	16,4	19,7	4,66	169	6,4	1,5	Manilhas de cimento	2,70	Não monitorizado. Informações: LNEC, 2008
2	Poço D. Rosa	Poço	D. Rosa (Manuel S. Santos)			18,44		4,32	75	4,93				Não monitorizado. Informações: LNEC, 2008
3	Poço D. Rosa	Poço	D. Rosa (Manuel S. Santos)			17,16		4,45	108	6,8				Propriedária ausente (Emigrada em França). Informações: LNEC, 2008
4	Poço D. Lurdes	Poço	D. Lurdes			18,7		4,1	107					Propriedária ausente (Emigrada em França). Informações: LNEC, 2008
5	Poço Sr. Arnaldo	Poço	Sr. Arnaldo Azevedo	04-10-2008	10:35:00	18,2	25	6,02	221	8,4		Manilhas cimento	5	
6	Poço Sr. Moreira	Poço	Sr. Joaquim E. Moreira	08-10-2008	14:30:00	18,2	22,6	5,21	193	3,24	1,5	Manilhas de cimento	1,40	
7	Poço Sr. Alcino (falecido)	Poço	Sr. Alcino	08-10-2008	15:00:00	16,3	22,5	5,24	114	6,0			2	
8	Poço Sr. Alcino (falecido)	Poço	Sr. Alcino	08-10-2008	15:10:00					6,5				Não monitorizado. Informações: LNEC, 2008
9	Poço Sr. Domingos Santos	Poço	Sr. Domingos Santos							2,3				Não monitorizado. Informações: LNEC, 2008
10	Poço Sr. Alcino	Poço	Alcino Carmo (falecido)							6,76				Não monitorizado. Informações: LNEC, 2008
11	Poço Sr. Januário	Poço	Januário Soares Rocha (falecido)			21,72		4,11	106	15,6		Rocha		Proprietário falecido, herdeiros não autorizaram monitorização. Informações: LNEC, 2008
12	Poço Sr. Moreira	Poço	Sr. Joaquim S. Moreira	04-10-2008	09:10:00	16,1	15	4,98	175	11	1,5	Manilhas cimento	9	Muito usado para rega e uso doméstico.
13	Poço Sr. Moreira (2)	Poço	Sr. Joaquim S. Moreira	04-10-2008	09:20:00	16,5	16,5	5,5	231	7,05	1,5	Manilhas cimento	2,9	Muito pouco usado.
14	Poço D. Margarida	Poço	D. Margarida Moreira	04-10-2008	09:50:00	16,78		4,9	148	9				Não monitorizado. Informações: LNEC, 2008
15	Poço D. Emília	Poço	D. Maria Emília Vieira	23-09-2008	17:45:00	22,71	26,3	5,02	178	9,23	1,5	Manilhas cimento	6,83	Nunca secou; não se registaram os parâmetros pois a água estava estagnada. Informação; informações: LNEC, 2008
16	Poço Sr. Rocha	Poço	Sr. José Joaquim Rocha	04-10-2008	09:00:00	16,2	15	6,19	162	14		Manilhas cimento	13,40	Antigo dono: José Artur Sousa Vieira.
17	Poço D. Aurora	Poço	D. Aurora	08-10-2008	14:10:00	16,4	24,8	5,78	66	13		Manilhas de cimento	9	
18	Poço Sr. Andrade	Poço	Sr. José M. Andrade	29-09-2008	15:45:00	18,6	31,4	6,33	163	10,52	1,5	Manilhas de cimento	4	
19	Poço	Poço	Prop. Desconhecido			20,2		4,68	203	15,3				Não monitorizado (proprietário ausente). Informações: LNEC, 2008
20	Poço Sr. Cardoso	Poço	Sr. António J. Cardoso	29-09-2008	16:15:00	16,9	29	5,37	169	10,4		Manilhas de cimento	8,5	"Fraga negra no fundo do furo, com fracturas, por onde brota a água" (informação oral transmitida pelo proprietário, que não autorizou fotografias).
21	Poço Sr. Nunes	Poço	Sr. Nunes	29-09-2008	15:25:00	19,9	33,2	4,92	221	7,50				Poço selado com cimento debaixo do péto. A medição foi feita numa torneira, após a água passar por lado de pressado.
22	Poço Sr. A. P. Nunes	Poço	Ant. Pereira Nunes	29-09-2008	14:20:00	20,4	28,3	5,09	216	7		Manilhas de cimento	2,5	Grânito duro no fundo do poço (informação oral cedida pelo proprietário).
23	Poço Sr. Neves	Poço	Sr. Carlos Neves	04-10-2008	09:50:00	17,1	20,95	4,8	219	14,5	1,5	Manilhas cimento	9,4	
24	Poço Sr.ª Inês	Poço	Sr.ª Inês	08-10-2008	16:30:00	17,6	23,0	5,79	114	7,8		Manilhas de cimento	5,40	
25	D. Inês II	Poço D. Inês	Sr.ª Inês	08-10-2008	16:30:00	18,3	25,0	6,21	121	6,3		Manilhas de cimento até 2m	4,1	Água estagnada e por vezes com cheiro sulfuroso.
26	ACI	Furo vertical	INATEL							68	5"	Tubo Aço INOX		Furo abandonado e cimentado.
27	Poço Sr. Vitorino	Poço	Sr. Vitorino	08-10-2008	15:45:00	18,3	24,0	5,9	161	9,5		Manilhas de cimento	2,10	
28	Poço Sr. Vieira	Poço	Sr. Vieira	08-10-2008	15:55:00	18,4	24,5	5,51	132	9,34	1,5	Manilhas de cimento	3,1	
29	Poço Sr. Daniel	Poço	Sr. Daniel	12-11-2008	15:50:00	14,6	17,3	6,31	118	9,05				Poço selado. Impossível medir nível. Água colhida à saída da bomba.
30	Poço D. Arminda	Poço	D. Arminda	08-10-2008	15:25:00	16,2	23,5	5,08	275	9,7	1,5	Manilhas de Cimento	8	
31	Poço Sr. José	Poço	Sr. José Soares Teixeira	04-10-2008	09:35:00	16,7	18,6	5,71	52	13		Manilhas de Cimento	11,2	Poço quase seco, água misturada com água de nascente canalizada para o poço.
32	Poço Sr. F. N. Silva	Poço	Fernando Nunes Silva	29-09-2008	14:10:00	25,3	28,1	5,72	215	8		Manilhas de Cimento		Poço selado. Impossível medir nível e colher água com balde. Bomba incorporacional (por falta de electricidade na zona). A medição foi feita em torneira vinda do depósito da casa.
33	Poço Sr. Andrade	Poço	Sr. Andrade	29-09-2008	15:00:00	18,1	30,7	5,33	178	12,02		Manilhas de Cimento	7,8	Medição em torneira no exterior da propriedade. Impossível aceder ao furo (Aut. de medição de parâmetros pelo filho do proprietário, mas sem chave para aceder ao interior da propriedade).
34	Furo Sr. Gonçalves	Furo	Sr. António Gonçalves Ferreira	04-10-2008	10:00:00	17,1	21,4	5,88	163	103		PVC		Nunca secou; a água foi recolhida numa torneira depois de passar por um depósito.
35	Poço Sr. Adão	Poço	Sr. Adão	29-09-2008	14:35:00	19,8	31,1	5,39	134	10,34		Blocos rochosos	5,5	
36	Café Kapital	Furo	Café Kapital	23-09-2008	17:11:00	21,1	27,5	4,65	450	37,5		PVC		Não monitorizado (proprietário ausente). Informações: LNEC, 2008
37	Furo F40	Furo	Prop. Desconhecido							82,20		PVC		Poço selado. Impossível medição de nível e qualidade da água. Medição de parâmetros à saída de uma torneira.
38	Poço Sr. Emília Tomás	Poço	Sr. Emília Tomás	29-09-2008	16:00:00	21,1	28,9	4,65	708	9,54		Manilhas de cimento		
39	AC2 (Furo Barbelos)	Furo vertical	INATEL	22-09-2008	09:10:00	22,1	21,5	8,9	650	114,8		Aço Inox		
40	Nascente dos Arcos Direita	Nascente	INATEL	22-09-2008	09:25:00	18,5	21,1	8,96	739					Medições realizadas no depósito no depósito em frente aos Arcos.
41	Nascente dos Arcos Esquerda	Nascente	INATEL	22-09-2008	09:15:00	17,6	21,1	8,32	562					Medições realizadas no depósito em frente aos Arcos.
42	Nascente Sr. Santos	Nascente	Sr. Manuel Santos	23-09-2008	16:19:00	17,7	27,3	5,95	152					Corresponde ao conjunto de emergências com os números de inventário 42, 43, 44 e 53
45	Minas (nascente) da casa velha	Nascente	Sr. Joaquim Silva Pereira	24-09-2008	10:00:00	18,1	20,5	5,5	205			PVC		Não monitorizado (proprietário ausente, familiar hospitalizado). Informações: LNEC, 2008
46	Poço D. Maria Clara	Furo	D. Maria Clara							58				
47	Nascente da Curveira	Nascente	INATEL	22-09-2008	11:50:00	17,2	21,9	8,74	600					
48	Fonte dos Anores	Nascente	INATEL	23-09-2008	14:53:00	16,9	25,6	5,97	310					Não monitorizado (proprietário ausente). Informações: LNEC, 2008
49	Furo Repsol	Furo	Posto REPSOL			17,3		6,13	135	28		Rocha		Furo tapado, sem condição para medição do nível e para fotografar. A medição foi realizada em torneira, após passagem por sistema com filtro de sal.
50	Furo Sr. Resende	Furo	Sr. Resende			17,3	24,0	5,28	335	90				

Quadro 54 (cont.) - Quadro resumo dos pontos de água inventariados durante a campanha de campo (cf. figura 151 e anexo 7).

Nº Inv.	Designação	Tipo	Proprietário:	Data	Hora	Temp. Água (°C)	Temp. Ar (°C)	pH	Cond. Eléctrica (us/cm)	Profundidade (m)	Diâmetro (m)	Tipo de entubamento	Nível dinâmico (m)	Observações
51	Furo D. Luísa	Furo	D. Luísa (Quinta de Verteiros)							100				Não foi possível registar os parâmetros pois a bomba do furo estava avançada. Proprietária não autorizou fotografias.
52	Nascente da Torre	Nascente	INATEL	22-09-2008	10:00:00									Nascente seca. Informações: LNEC, 2008
54	Mina M1	Nascente	Alcino Carmo (falecido)	23-09-2008	15:31:00	18,1	24,9	6,91	132					Medições realizadas à saída da mina, que se encontrava com a porta (verde) fechada.
55	Nascente do Inferno	Nascente	INATEL	23-09-2008	09:35:00	16,5	18,9	5,38	108					A nascente está abrigada por uma mina, cuja entrada é em alvenaria de granito.
56	Nascente das Ardiás	Nascente	Desconhecido	23-09-2008	10:55:00		22							Não foi possível registar os parâmetros pois o caudal era extremamente reduzido.
57	Fonte Ameixêde	Fonte ou Tanque	Câmara Municipal de Penafiel	22-09-2008	10:30:00	17,2	21,1	5	175					
58	Tanque Curveira 1	Mina com Tanque	Câmara Municipal de Penafiel	22-09-2008	10:45:00	15,7	20,7	5,34	72					
59	Tanque Curveira 2	Mina com Tanque	Câmara Municipal de Penafiel	22-09-2008	10:50:00	15,4	20,7	5,7	121					
60	Depósito da nascente do Inferno	Depósito	INATEL	23-09-2008	09:08:00	16,6	18,6	5,7	154					Altura da água ca. 2m; depósito com ca. 10 m <sup>2</sup> .
61	Ribeira das Ardiás 1	Linha d'água	Público	23-09-2008	11:00:00	17,9	22,1	7,26	105					Medições a ca.3m a montante da nascente das Ardiás.
62	Ribeira das Ardiás 2	Linha d'água	Público	23-09-2008	11:20:00	18,3	22	7,68	119					Localiza-se e juzante da nascente das Ardiás; medições a ca. 1m a montante duma nascente sulfurosa que brota no fundo de um depósito em pedra, no leito da ribeira, construído para receber as águas sulfurosas.
63	Ribeira das Ardiás 3	Linha d'água	Público	23-09-2008	11:39:00	18,9	28,5	7,32	138					Localiza-se a juzante do P13, junto às casas do Sr. António e Sr. Pinto "das Ardiás", em dois locais na margem esquerda da ribeira encontraram um poço e furo de água sulfurosa ca. 2m de profundidade, abandonados.
64	Fonte das Ardiás	Nascente	Público	23-09-2008	12:10:00	18,4	24,7	5,54	82					Placa com indicação "água imprópria para consumo".
65	Fonte 1975	Lavadouro	Câmara Municipal	24-09-2008	11:34:00	18	25,2	5,53	202					Localiza-se à margem direita da ribeira das Ardiás, junto à ponte.
66	Fonte 1969	Lavadouro	Junta de Freguesia de Eja	24-09-2008	11:45:00	20,7	24,8	5,5	68					Placa com indicação "água imprópria para consumo".
67	Nascente na Curva	Nascente	Público	24-09-2008	12:21:00	18,5	28,9	5,9	126					Medições realizadas à saída duma diacalse. Existem duas pequenas represas que colectam a água da rocha.
68	Fonte JFE	Fonte	Junta de Freguesia de Eja	24-09-2008	14:40:00	19,8	29,5	5,62	42					Placa com indicação "água imprópria para consumo".
69	Fonte de Eja	Fonte	Junta de Freguesia de Eja	24-09-2008	15:05:00	22,5		5,62	42					Placa com indicação "água imprópria para consumo".
70	Pressa do Ribeiro	Linha d'água	Público	24-09-2008	15:40:00	17,1	28,6	5,74	34					Existe um lavadouro abandonado próximo à nascente.
71	Fonte das Portelas	Lavadouro	Público	24-09-2008	16:00:00	21,8		5,3	35					A água é canalizada a partir de uma nascente no monte.
72	Quinta Abol de Baixo 1	Tanque	Sr. Samento	03-10-2008	11:10:00	17,1	25	6,7	98					
73	Quinta Abol de Baixo 2	Tanque	Sr. Samento	03-10-2008	11:15:00	16,4	24,9	6,05	137					
74	Quinta Abol de Baixo 3	Tanque	Sr. Samento	03-10-2008	11:30:00	15,5	22,1	7,21	174					
75	Quinta Abol de Baixo 4	Tanque	Sr. Samento	03-10-2008	11:40:00	16,8	23,4	5,77	238					A água aparenta ser canalizada de outro tanque mais acima na propriedade.
76	Poço oficina	Poço	Oficina Automóvel	12-11-2008	14:35:00	16	16,9	4,84	463	aprox. 9m		Manilhas	5,4	Campo agrícola cultivado ao lado (pesticidas).
77	Furo Ameixêde	Furo	-	12-11-2008	15:05:00	16,2	16,9	4,98	302	89		Manilhas	5,4	Impossível medir nível, coneta na torneira.
78	Poço da Fábrica de Blocos	Poço	Fábrica de Blocos	12-11-2008	16:05:00	15,1	17,3	5,75	110	10		Manilhas	7,9	
79	Poço Sr. Zé Maria	Poço	Sr. Zé Maria	06-01-2009	13:15:00	15	10	4,89	247	8		Rocha		Água imprópria para consumo.
80	Poço Sr. Manuel/Manuela	Poço	Sr. Manuel/Manuela	06-01-2009	13:50:00	13,7	11	5,11	347	9		Manilhas		Poço selado; impossível medir o nível.
81	Poço Fábrica Metalurgia	Poço	Fábrica Metalurgia	06-01-2009	14:00:00	7,6	11	5,75	150					Água entubada desde o monte.
82	Fontanário - 2	Fontanário	Câmara Municipal de Penafiel	06-01-2009	14:20:00	15,6	11	4,58	471					Nascente em mina a 50m da fonte
83	Fonte Amores	Mina/Fonte	Câmara Municipal de Penafiel	06-01-2009	14:20:00	15,1	10	4,96	462					Medição num tubo secundário com caudal reduzido.
84	Tanque Fonte Amores	Tanque/Fonte	Câmara Municipal de Penafiel	06-01-2009	14:20:00	15,1	10	4,96	462					
85	Poço Sr. Agostinho	Poço	Sr. Agostinho	06-01-2009	14:45:00	14	11	6,04	576	6			3,6	
86	Poço Sr. Luzia	Poço	Sr. Luzia	06-01-2009	15:00:00	14,4	11	5,3	425	+ 10		Rocha	1 m	
87	Poço Sr. Agostinho	Poço	Sr. Agostinho											Proprietário negou acesso ao poço, por indicação do proprietário do terreno (Termas de S. Vicente).
88	Poço Sr. Zé	Poço	Sr. Zé	06-01-2009	15:00:00	15,3	11	4,86	400	7		Rocha	4	Água colhida à saída da bomba.
89	Poço Sr. Zé da Vinha	Poço	Sr. Zé Vinha	06-01-2009	16:00:00	15,6	12	5,29	890			Rocha	3,1	Proprietário não autorizou fotografias do poço.
90	Fontanário - 1	Fonte	Câmara Municipal de Penafiel	06-01-2009	16:30:00	12,4	9	5,61	65					Água encanada desde o monte.

---

O inventário hidrogeológico de campo permitiu distinguir, de forma expedita, os dois tipos de água presentes na região com base nos parâmetros hidrogeológicos básicos, medidos no campo. Assim, as águas normais da região apresentam valores de pH em geral abaixo de 6, podendo chegar a 4,1 em certos casos, com condutividades eléctricas baixas (em geral, inferiores a  $150 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), ou bastante altas, chegando por vezes a valores da ordem dos  $800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Neste último caso, as elevadas condutividades devem estar relacionadas com contaminações, pois esses valores registam-se, em geral, junto a terrenos agrícolas.

Por contraste, as águas minerais das várias nascentes registadas apresentam valores de pH entre 8 e 9, e condutividades eléctricas que variam entre 650 e  $750 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . A captação actual de água resulta dos trabalhos de prospecção, resultantes das recomendações do relatório de A. Cavaco, 1989. O Furo AC1 foi abandonado, por ser improdutivo em termos de água mineral, sendo a captação actual assegurada pelo furo AC2 (Barbeitos). Por se considerarem importantes na percepção da alteração e estruturação do maciço em profundidade, apresentam-se os perfis esquemáticos dos furos AC1 e AC2 nas *figura 262 e figura 263*.

As emergências clássicas de água mineral (nascentes da Curveira e das Ardias), bem como a captação actual (Furo de Barbeitos), representados na *figura 261*, localizam-se a cotas que variam entre os 150 e os 200 m, em zonas de fracturação mais intensa, próximos a contactos geológicos entre o granito de grão grosseiro e o granodiorito. Junto às nascentes da Curveira e das Ardias registou-se a presença de microgranito de duas micas, que em geral surge sob a forma de estrutura filoniana.

A temperatura das emergências não parece ser um elemento diferenciador, pois a temperatura de emergência das águas minerais é baixa, e algumas das nascentes de água normal controladas apresentavam anomalias de temperatura que se ficaram a dever às altas temperaturas registadas durante o inventário de campo, bem como a medições em locais onde a água se encontrava estagnada, sob acção directa do Sol.

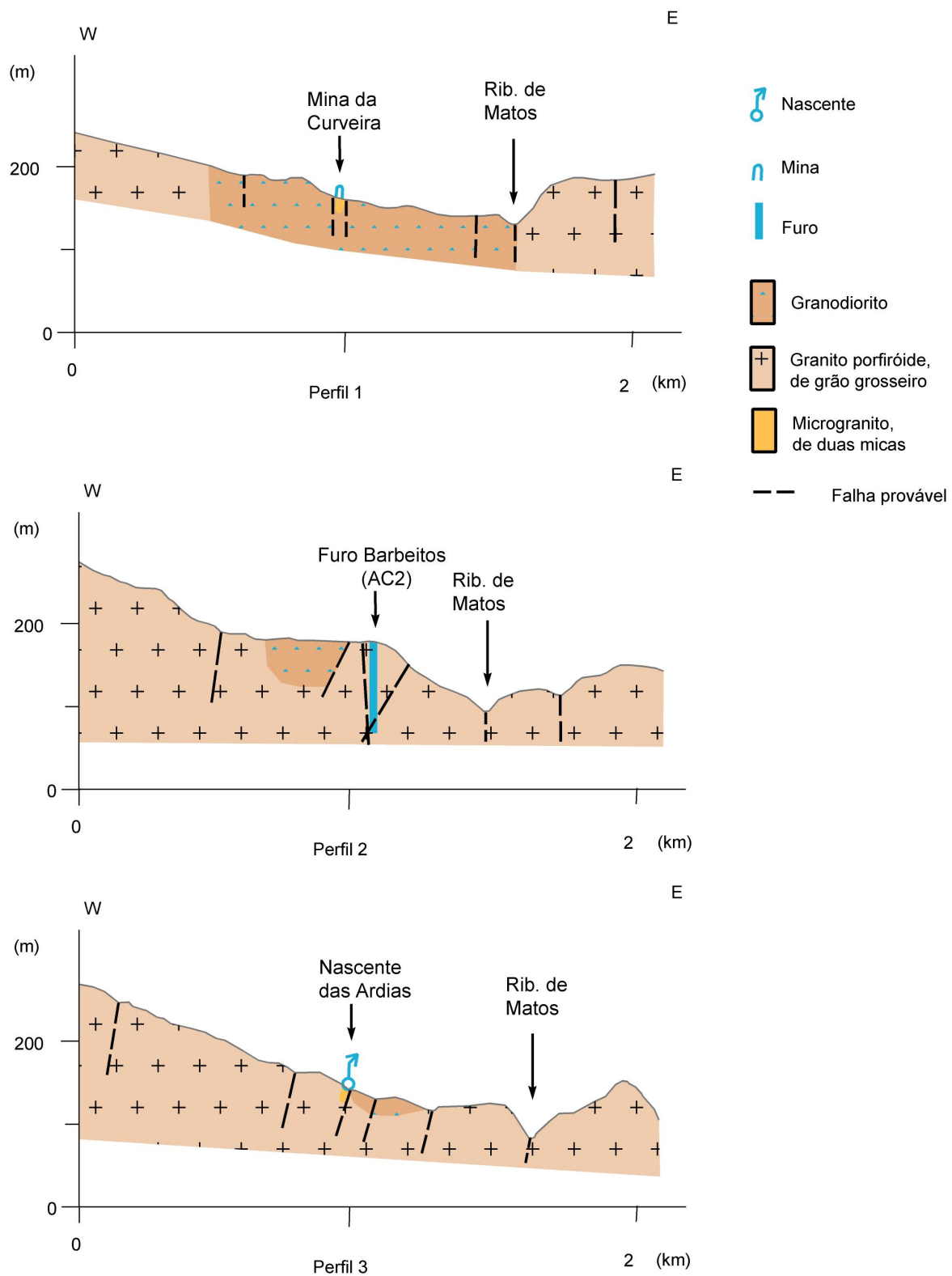


Figura 261 - Perfis geológicos sequenciais da área de Entre-os-Rios (cf. localização dos perfis na figura 239; sobre-elevação vertical: 3 vezes escala horizontal).

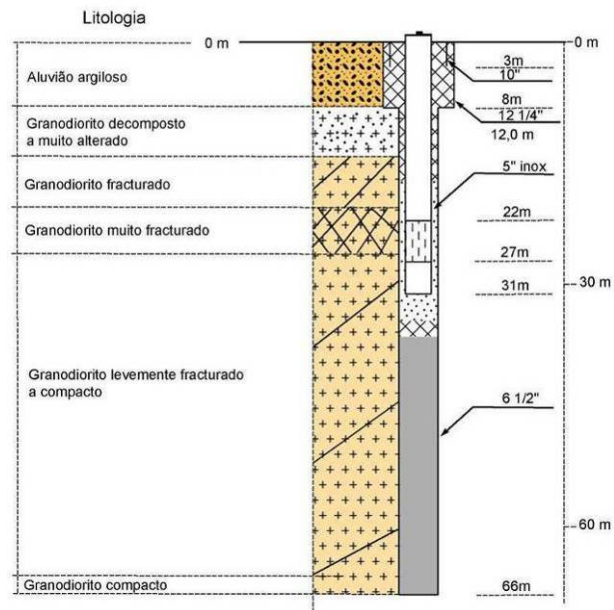


Figura 262 – Perfil esquemático do Furo AC1 (adaptado de A.Cavaco, 1990).

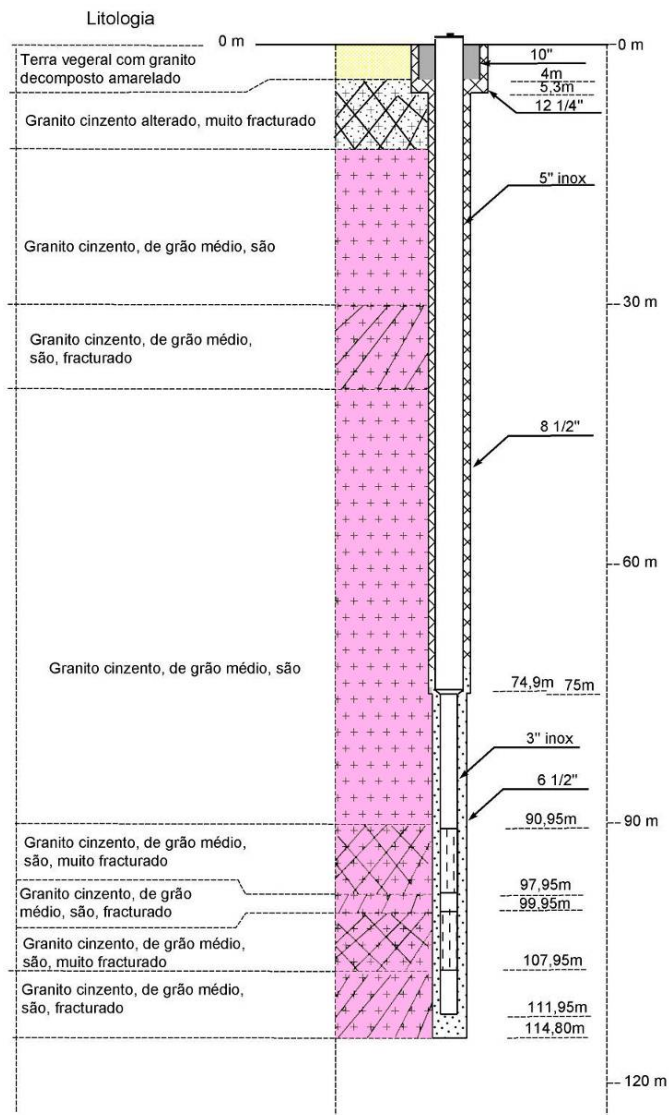


Figura 263 – Perfil esquemático do Furo AC2 (adaptado de A.Cavaco, 1990).

---

Em termos espaciais, a ocorrência dos pontos de água inventariados (figura 264) aparenta estar fortemente relacionada com os lineamentos tectónicos registados, à escala local, na área de Entre-os-Rios. Este condicionamento é ainda mais evidente quando se tomam em consideração as direcções direcções aproximadas N-S (NNE – SSW a NNW – SSE), sobretudo na área mais próxima à Torre, nomeadamente a Oeste do balneário termal. É de assinalar ainda que praticamente todos os pontos de água se encontram muito próximos dos lineamentos tectónicos, concentrando-se sobretudo nas áreas mais próximas do fundo do vale da Ribeira de Matos, num corredor de direcção aproximada N-S. De facto, a grande concentração de emergências foi visível durante a fase de inventário hidrogeológico, principalmente na área envolvente às nascentes dos Arcos e do Furo AC2 (Barbeitos).

Na área envolvente ao furo de Barbeitos foi realizada também uma espacialização dos dados relativos aos parâmetros hidrogeológicos medidos no campo (pH, condutividade eléctrica e temperatura), em ambiente SIG, recorrendo ao método de interpolação IDW (*Inverse Distance Weight*), em que os pontos mais próximos assumem maior importância na estimativa do valor final, cujos resultados se apresentam na figura 265. A espacialização dos dados revela um contraste espacial claramente dominado pelas diferenças nos dois tipos de água (mineral e normal) presentes na área. Assim, os valores de pH mais elevados surgem ligados aos pontos de água mineral, registando-se um decréscimo gradual do pH em direcção a Oeste.

Os valores de condutividade eléctrica, sempre muito baixos, apresentam uma variação espacial pouco nítida, concentrando-se os valores mais elevados nas proximidades das ocorrências de água mineral. As temperaturas apresentam valores relativamente baixos (< 25°C), denunciando uma tendência de descida oposta à do pH, em direcção a Este.



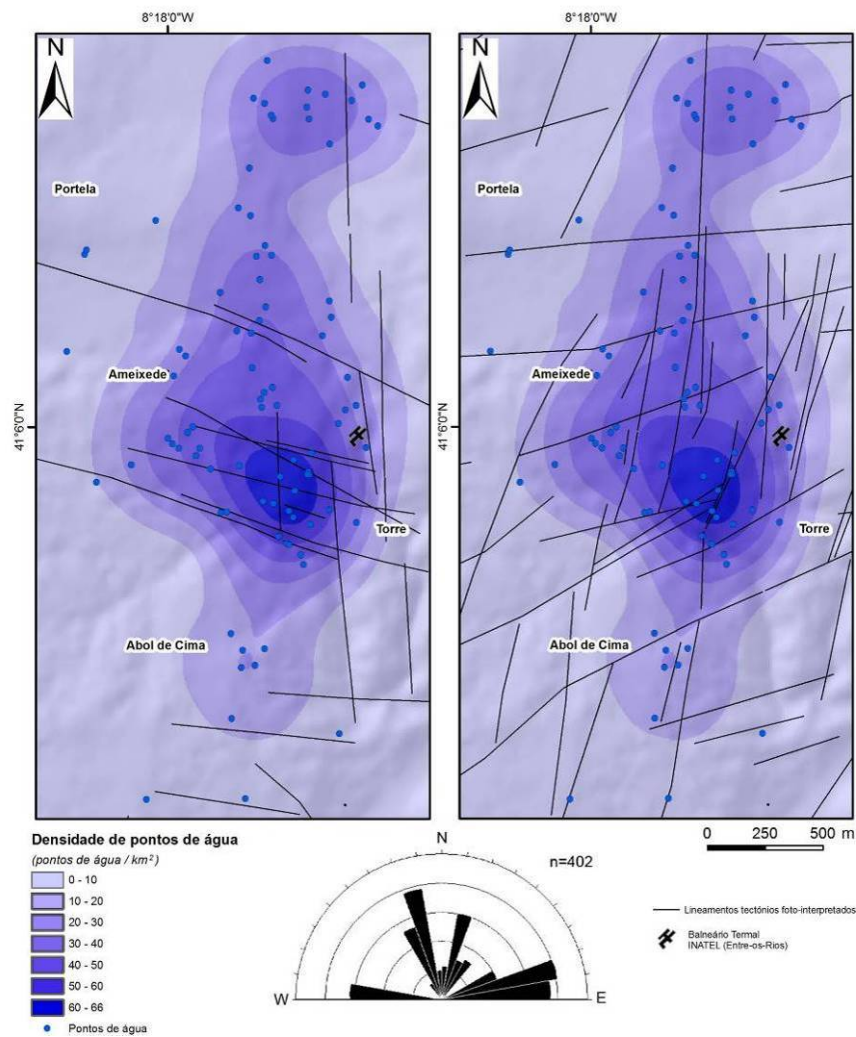


Figura 264 – Lineamentos tectónicos do quadrante NW (a) e do quadrante NE (b), e densidade de pontos de água da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios.

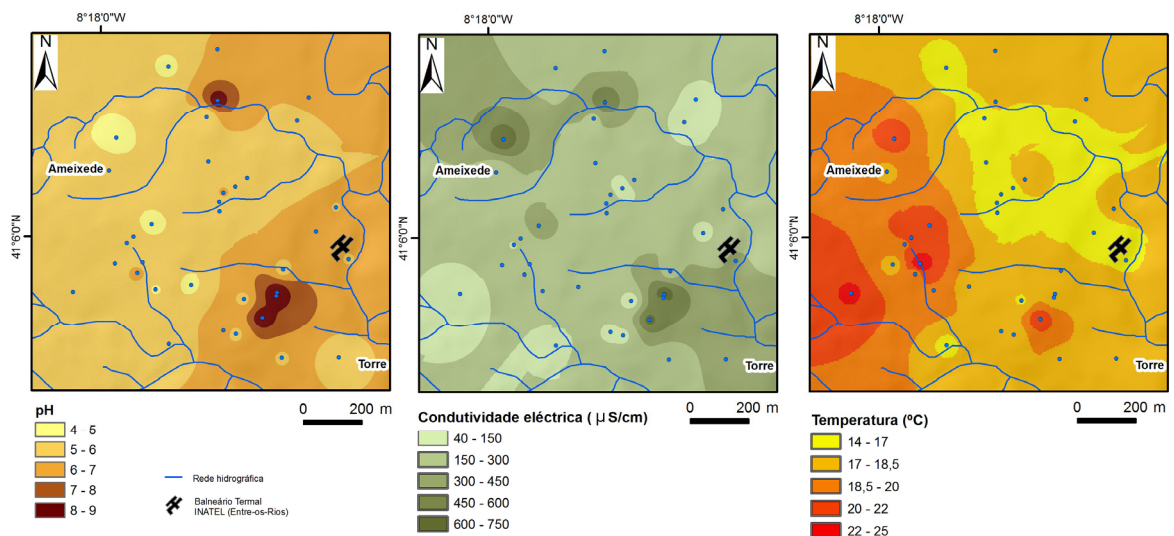


Figura 265 - Espacialização do pH, condutividade eléctrica e temperatura na área de Entre-os-Rios.

### 5.5.5.2. Hidroquímica

Os registos históricos caracterizam as águas minerais de Entre-os-Rios como hipotermiais, fracamente mineralizadas, com reacção alcalina, sulfídricas, bicarbonatadas-sódicas, carbonatadas, muito fluoretadas (e.g., Baptista, 1884; Ferreira da Silva, 1908; Baptista, 1912; Machado, 1988). O gráfico da Figura 266, apresentado por Ferreira da Silva (1908), aponta as águas de Entre-os-Rios como as que apresentam maior teor em sulfuração no conjunto das águas minerais portuguesas, apesar de serem também as que apresentam a temperatura mais baixa.

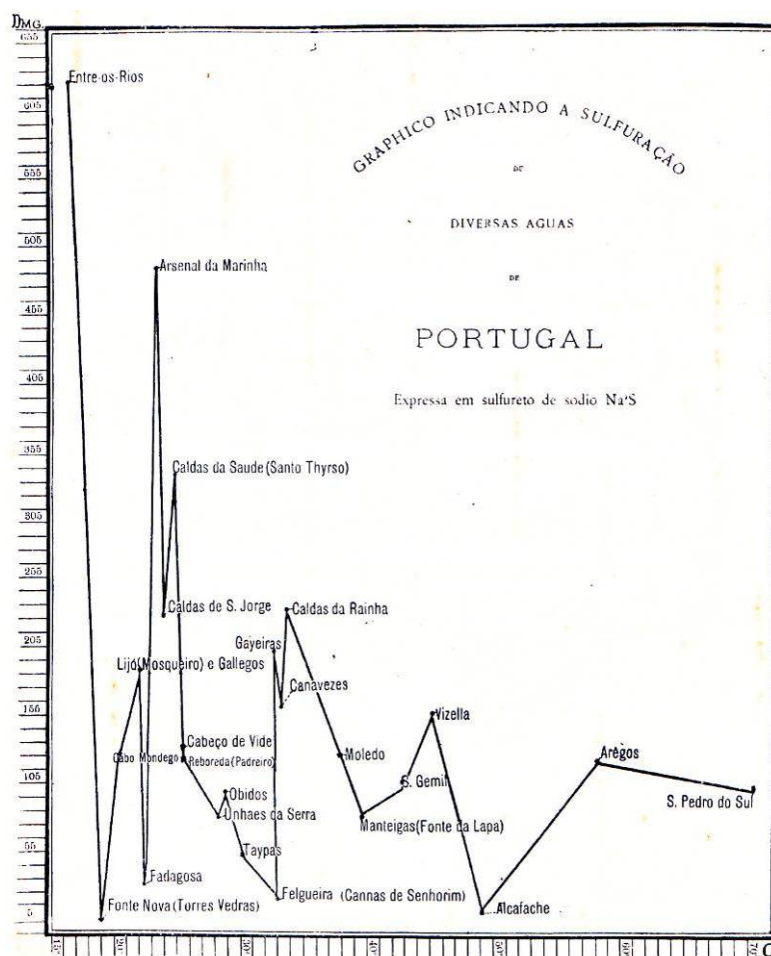


Figura 266 – Gráfico da sulfuração das águas minerais portuguesas (segundo Ferreira da Silva, 1909).

Assim, para a caracterização hidroquímica das águas minerais e normais da área das Termas de Entre-os-Rios (cf. Figura 267), realizaram-se duas campanhas de amostragem, em Março de 2010 e Março de 2011, com oito pontos de colheita de água, quatro de água normal (ER1, ER2, ER4 e ER8) e os restantes de água mineral (ER3, ER5, ER6 e ER7). Foram ainda retomadas as análises do Furo de Barbeitos (ER7),

relativas ao período 2006-2010, gentilmente cedidas pela Directora Técnica das Termas de Entre-os-Rios, Doutora M. J. Afonso.

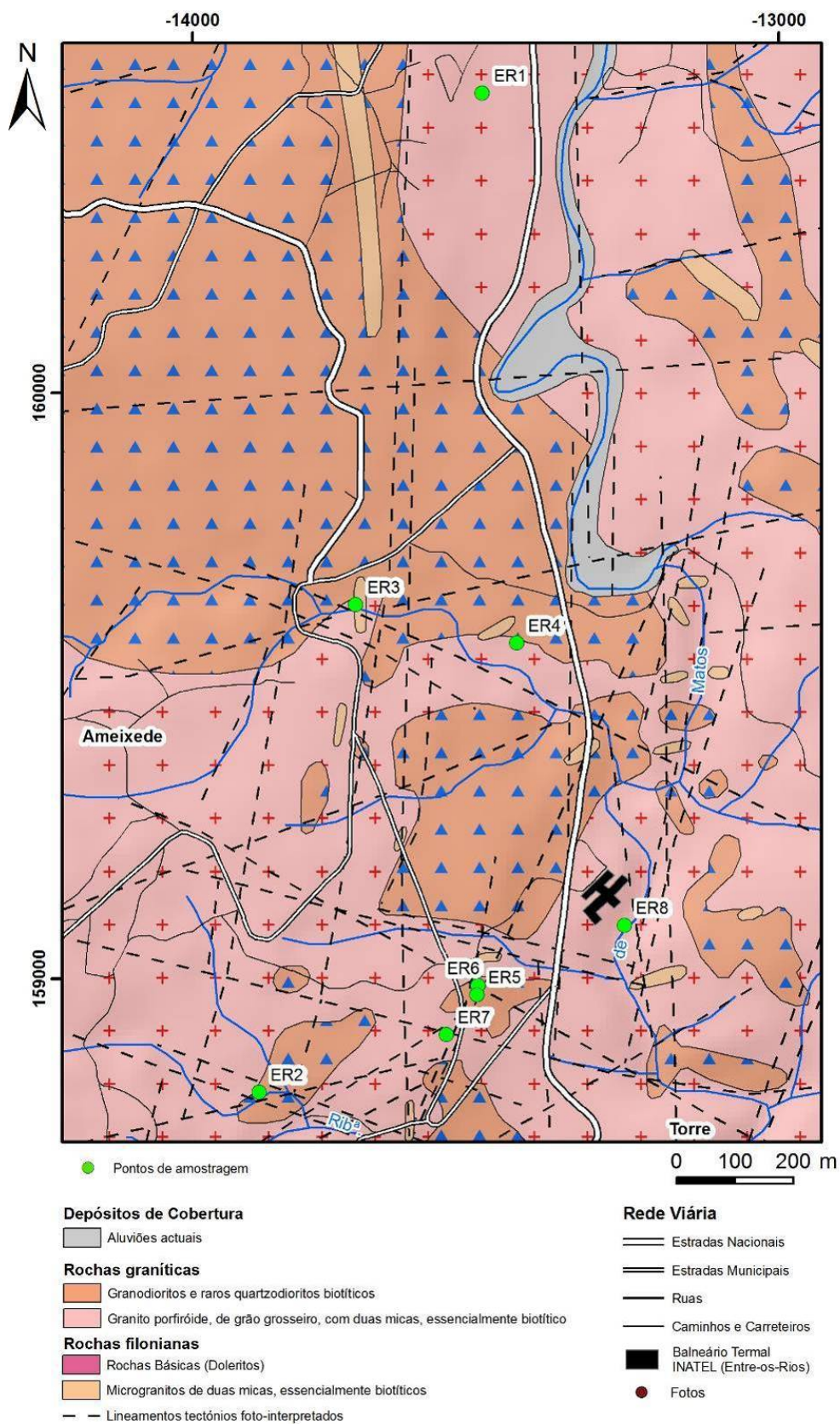


Figura 267 – Pontos de amostragem físico-química e radiológica, na área das Termas de Entre-os-Rios.

As águas minerais da área de Entre-os-Rios apresentam uma predominância clara dos iões bicarbonato e sódio, com excepção para amostra ER5 (Nascente dos Arcos, esquerda), em que o predomínio do ião bicarbonato não é tão evidente (figura 268 e figura 269). As análises físico-químicas revelaram ainda a presença de fluoreto, assim como a presença de sulfuretos.

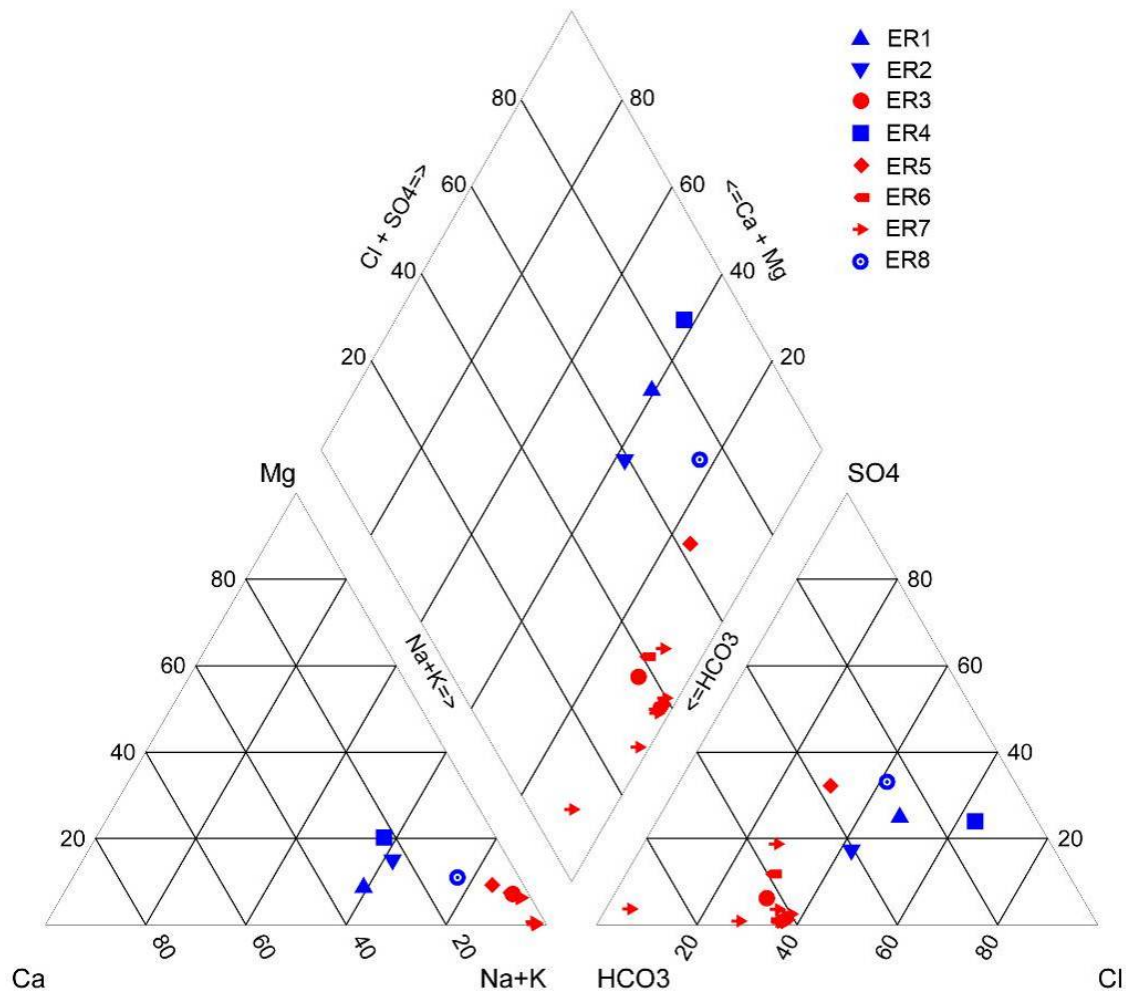


Figura 268 - Diagrama de Piper relativo aos pontos de amostragem de água mineral (vermelho) e normal (azul) da área das Termas de Entre-os-Rios.

Por seu lado, as águas normais da região apresentam uma fácies diferente, sendo fundamentalmente cloretadas sódicas (figura 270).

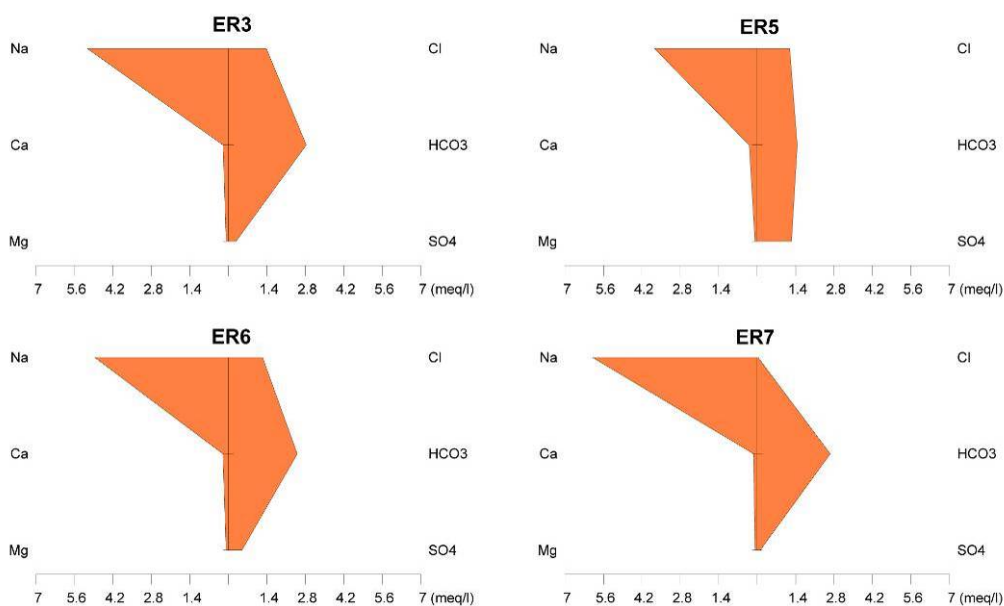


Figura 269 - Diagramas de Stiff representativos (valores médios) das águas minerais das Termas de Entre-os-Rios.

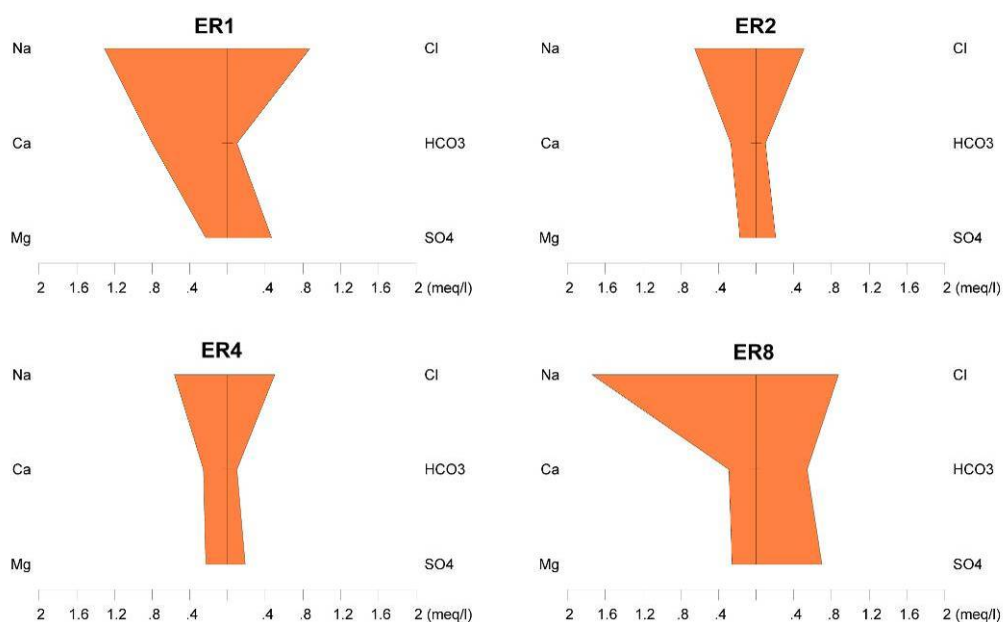


Figura 270 - Diagramas de Stiff representativos (valores médios) das águas normais da área envolvente às Termas de Entre-os-Rios.

À semelhança do pólo anterior, a análise química das águas através do método ICP-MS (quadro 55) possibilitou uma visão detalhada dos elementos químicos presentes nas águas minerais das nascentes da Curveira (ER3) e do furo de Barbeitos (ER7), tendo sido identificada a presença nas águas de Manganês, Rubídio e Estrôncio. As quantidades de Arsénio, Mercúrio, Chumbo, Tório e Urânio são muito reduzidas, e nalguns casos, abaixo do limite de detecção do método ICP-MS.

Quadro 55 - Síntese dos principais elementos químicos detectados nas águas da área da Noninha, através da análise por ICP-MS (análise Actlabs, Canadá, em Abril de 2011).

Elemento químico	Na	Mg	Si	K	Ca	Mn	Fe	As	Rb	Sr	Hg	Pb	Th	U
Limite de deteção	5	1	200	30	700	0,1	10	0,03	0,005	0,04	0,2	0,01	0,001	0,001
ER3	> 35000	233	33900	2920	4700	9,6	20	0,19	33,1	69,4	< 0,2	0,09	0,004	0,065
ER7	> 35000	40	27100	2880	3200	3,6	< 10	< 0,03	43,1	106	< 0,2	0,02	0,002	0,015

Unidades: µg/L

À semelhança dos sectores anteriores, durante a campanha de amostragem de Março de 2010 foram recolhidas amostras de água, quer em pontos de água mineral quer em pontos de água normal, nas imediações das Termas de Entre-os-Rios.

Os valores obtidos para as amostras recolhidas variam entre 62 Bq/L e 889 Bq/L de gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ), com uma mediana de 216 Bq/L e uma média de 307 Bq/L (quadro 56). Estes valores médios situam-se dentro do intervalo proposto por Pereira et al., 2007a para as águas associadas a rochas graníticas (104 a 373 Bq/L), registando-se que as concentrações mais elevadas são mais de duas vezes superiores ao limite superior do intervalo referido. Como já foi referido anteriormente, este é um padrão de variação natural dos valores de gás radão em águas que circulam nas rochas granitoides do território nacional (Pereira et al., 2007a).

Quadro 56 – Concentrações de gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) e actividade  $\alpha$  e  $\beta$  nas águas da área das Termas de Entre-os-Rios.

Amostra	Tipo de ponto de água	Colheita	pH	Cond. Eléctrica (µS/cm)	Temp. (°C)	$^{222}\text{Rn}$ (Bq/L)	$\alpha$ (Bq/L)	$\beta$ (Bq/L)
ER1	Mina / Fonte	4-3-10 9:35	5,1	299	15,6	889	0,57	0,70
ER2	Mina	4-3-10 10:30	5,3	158	13,9	307	0,08	0,26
ER3	Mina	4-3-10 11:05	8,2	543	16,1	171	0,05	0,20
ER4	Poço	4-3-10 11:30	5,4	140	15,3	260	0,08	0,29
ER5	Nascente	4-3-10 11:50	6,3	432	14,3	71	0,10	0,26
ER6	Nascente	4-3-10 12:00	8,1	510	16,4	116	0,17	0,22
ER7	Furo	4-3-10 12:20	8,9	620	20,2	62	0,02	0,11
ER8	Nascente	4-3-10 12:40	6,2	275	16,2	577	0,12	0,17
Mediana:			6,3	366	15,9	216	0,09	0,24
Média:			6,7	372	16,0	307	0,15	0,28
Desvio padrão:			1,5	180	1,9	289	0,17	0,18

A concentração de gás radão não parece, na área das Termas de Entre-os-Rios, estar relacionada com os parâmetros hidrogeológicos da água amostrada, tais como o pH, a condutividade eléctrica e a temperatura, bem como as fácies hidroquímicas da água. No entanto, verificou-se que as concentrações mais baixas de  $^{222}\text{Rn}$  (figura 271) ocorrem no furo e nas nascentes de água mineral sulfúrea (ER5, ER6 e ER7). Esta situação foi também verificada por Ferreira et al. (2010) para região do Minho, num estudo em que se verificou que as águas das nascentes da área envolvente a captações clássicas de água

mineral apresentavam, geralmente, concentrações de gás radão superiores a estas últimas (figura 271).

Verificou-se também que as concentrações mais elevadas se situam em nascentes localizadas em plena mancha do granito porfiróide de grão grosseiro, notando-se uma tendência de diminuição dos valores quando as nascentes se situam nas proximidades dos contactos geológicos com os granodioritos (figura 272).

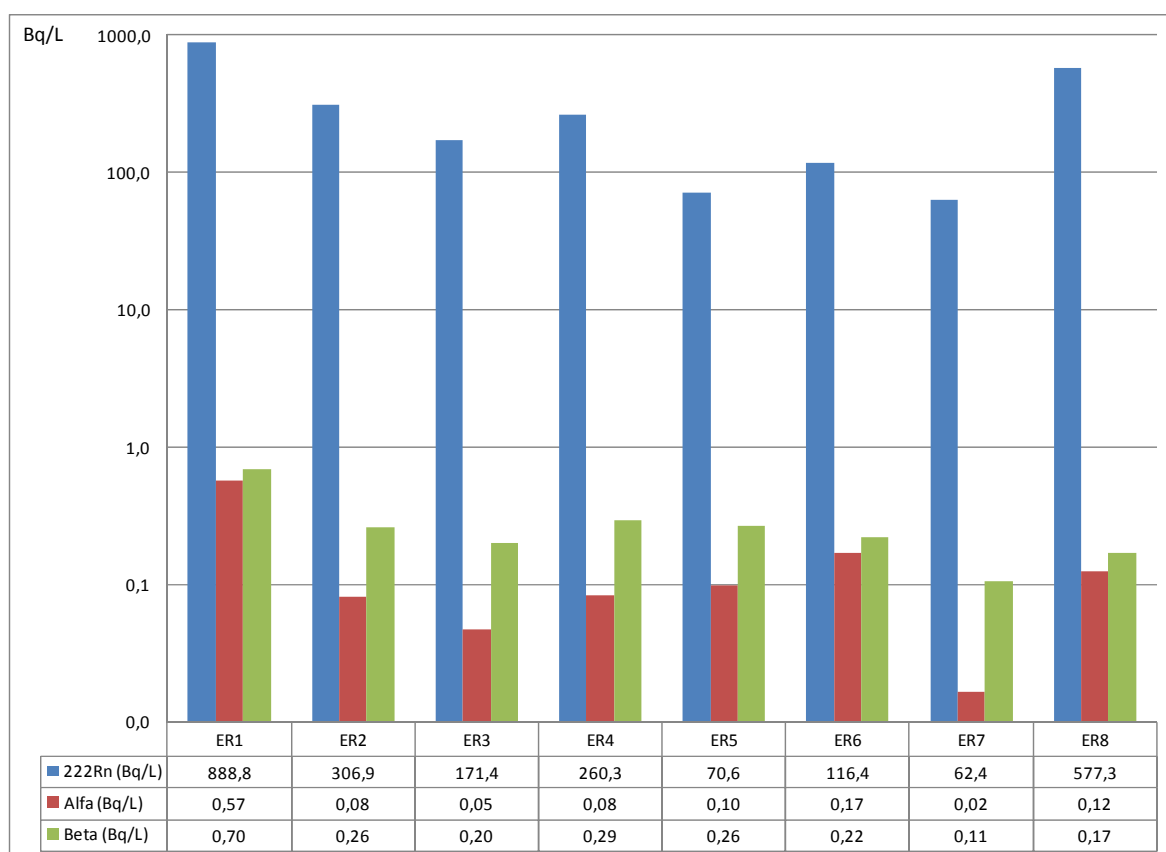


Figura 271 - Valores de gás radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) e actividade  $\alpha$  e  $\beta$ , nas amostras da área das Termas de Entre-os-Rios.

Os valores de actividade  $\alpha$  e  $\beta$  registados situam-se sempre abaixo de 0,5 Bq/L, com excepção da mina / fonte ER1. Com excepção deste ponto, que excede ligeiramente no parâmetro da actividade  $\alpha$ , todos os restantes valores se encontram dentro do limite legal da legislação portuguesa, relativamente à actividade  $\alpha$  e  $\beta$  total (0,5 Bq/L e 1Bq/L, respectivamente) para as águas de consumo humano.

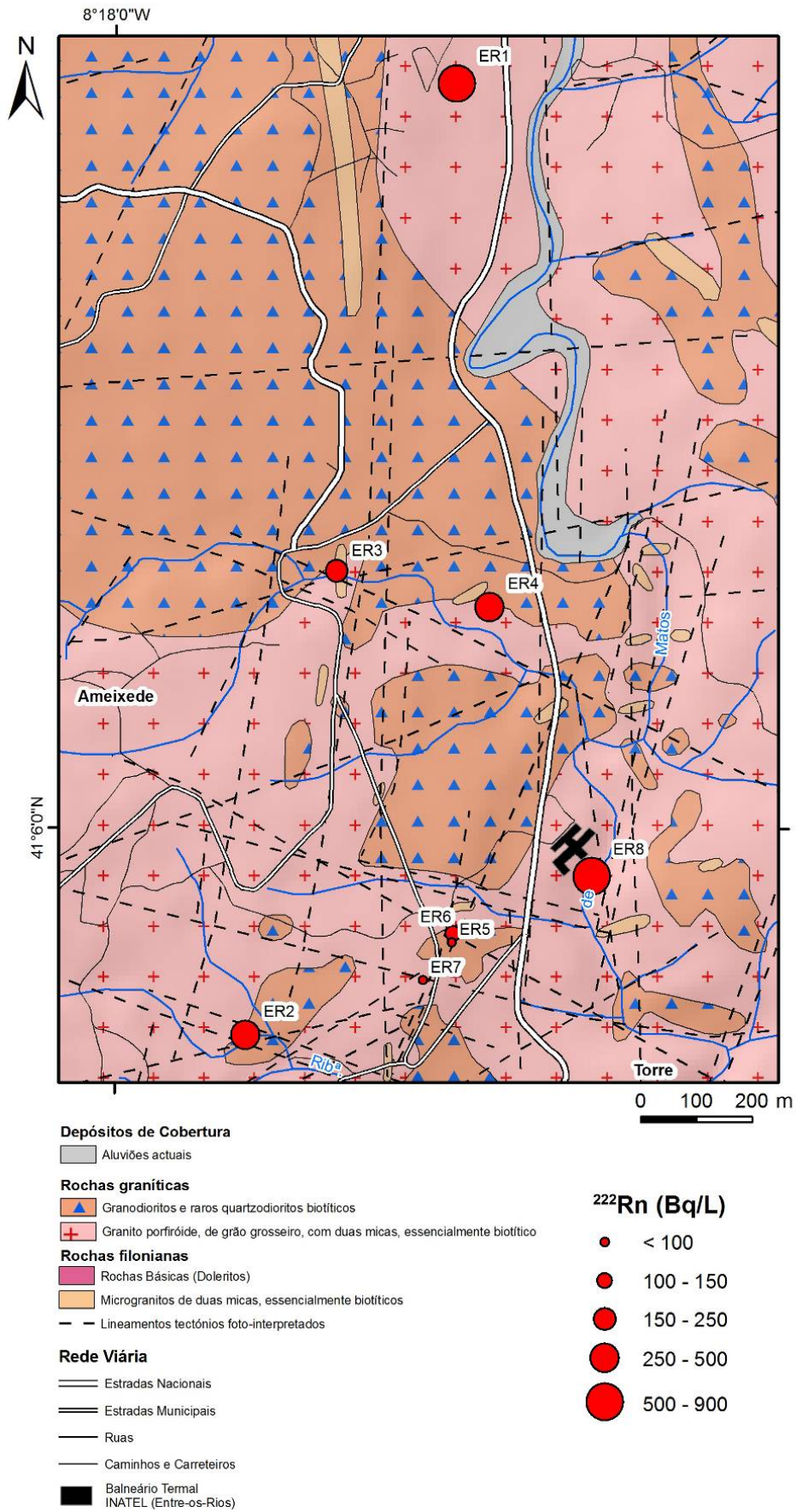


Figura 272 - Pontos de amostragem de águas para análises radiológicas na área das Termas de Entre-os-Rios.



---

### 5.5.5.3. *Unidades hidrogeológicas*

Em termos hidrogeológicos, foram definidas várias unidades hidrogeológicas, de acordo com a ligação à rede hidrográfica, o tipo de escoamento e de horizonte do manto de alteração e a vulnerabilidade à contaminação (segundo o método GOD, figura 274). Assim, foram identificadas as seguintes unidades, ilustradas no mapa da figura 273, a saber:

a) *Rochas sedimentares – Coluviões e/ou eluviões*

Esta unidade apresenta uma representatividade cartográfica reduzida, estando limitada apenas ao fundo do vale da Ribeira de Matos. É uma unidade constituída por materiais argilo-arenosos, por vezes com calhaus rolados, com reduzida espessura. São materiais que apresentam circulação típica em meio poroso e, muito provavelmente, terão ligação à rede hidrográfica. A vulnerabilidade à contaminação desta unidade hidrogeológica é alta.

b) *Rochas granitóides – Granodioritos e quartzodioritos biotíticos*

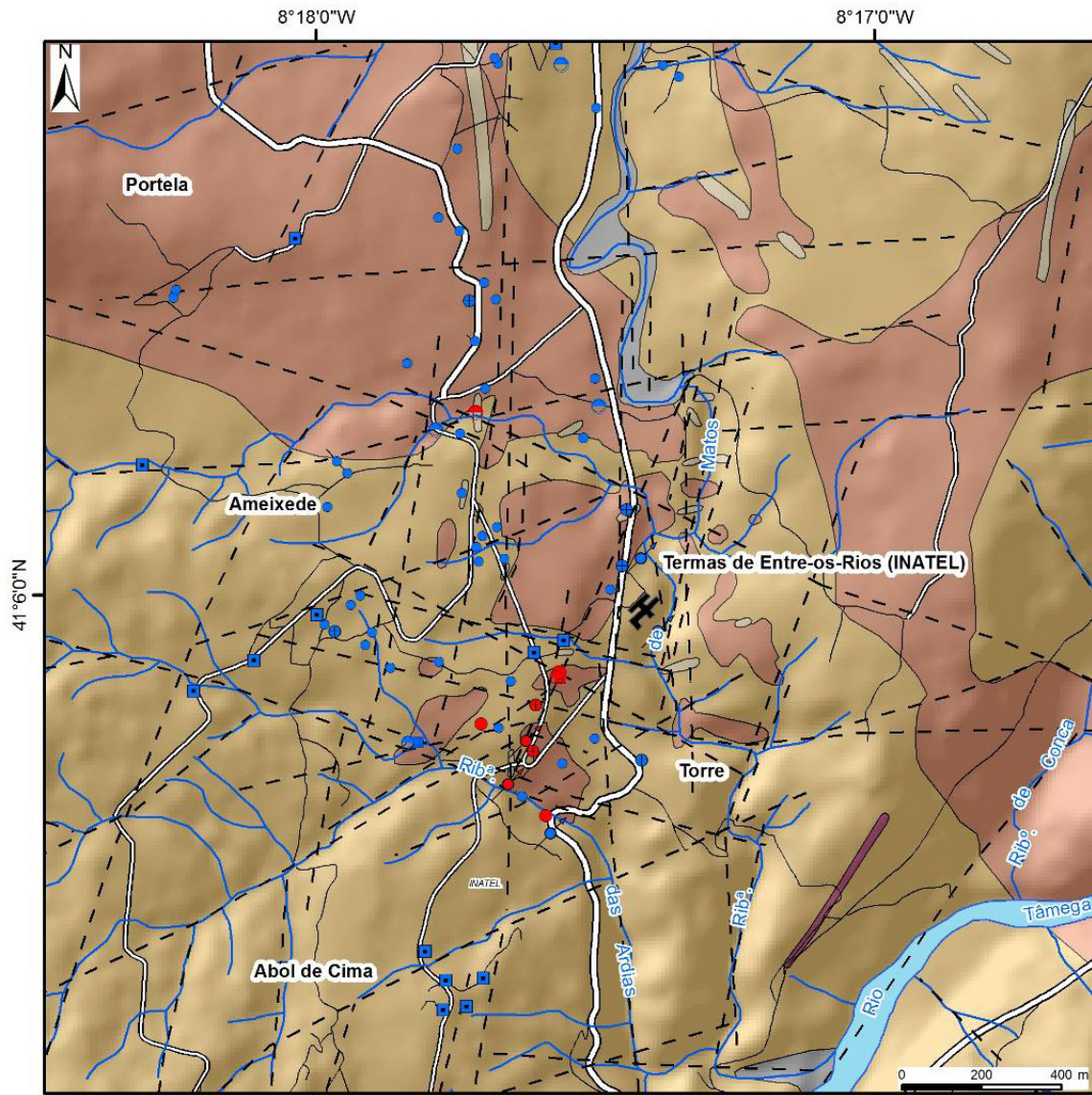
A unidade hidrogeológica dos granodioritos apresenta grande representatividade cartográfica na área de estudo. Apresenta-se em geral pouco alterada (o horizonte de alteração é geralmente pouco espesso, e de tendência fina a argilosa), e a circulação efectua-se essencialmente em meio fracturado, no caso da rocha sã, e em meio poroso, no caso de horizonte de alteração. A vulnerabilidade à contaminação desta unidade hidrogeológica é muito baixa.

c) *Rochas granitóides – Granito porfiróide, de grão grosseiro*

A unidade hidrogeológica do granito porfiróide apresenta também grande representatividade cartográfica na área de estudo. Apresenta horizontes de alteração em geral muito espessos, que podem atingir por vezes os 15 a 20 m, sendo constituído por materiais arenosos (resultantes da meteorização mecânica, por desagregação do quartzo) e argilosos (resultantes sobretudo da alteração meteórica dos feldspatos). A circulação efectua-se, tal como no granodiorito, em meio fracturado, no caso do granito sã, e em meio poroso, no caso do manto de alteração. A vulnerabilidade à contaminação é considerada baixa.

d) *Rochas filonianas*

As rochas filonianas estão fracamente representadas na área em estudo, pelo menos no que diz respeito às estruturas com representatividade cartográfica assinalável. No caso particular das Termas de Entre-os-Rios parecem ter relevância especial os filões de microgranito. No entanto, as estruturas filonianas constituem factores de favorabilidade na prospecção hidrogeológica. As rochas filonianas desta área apresentam uma vulnerabilidade à contaminação baixa.



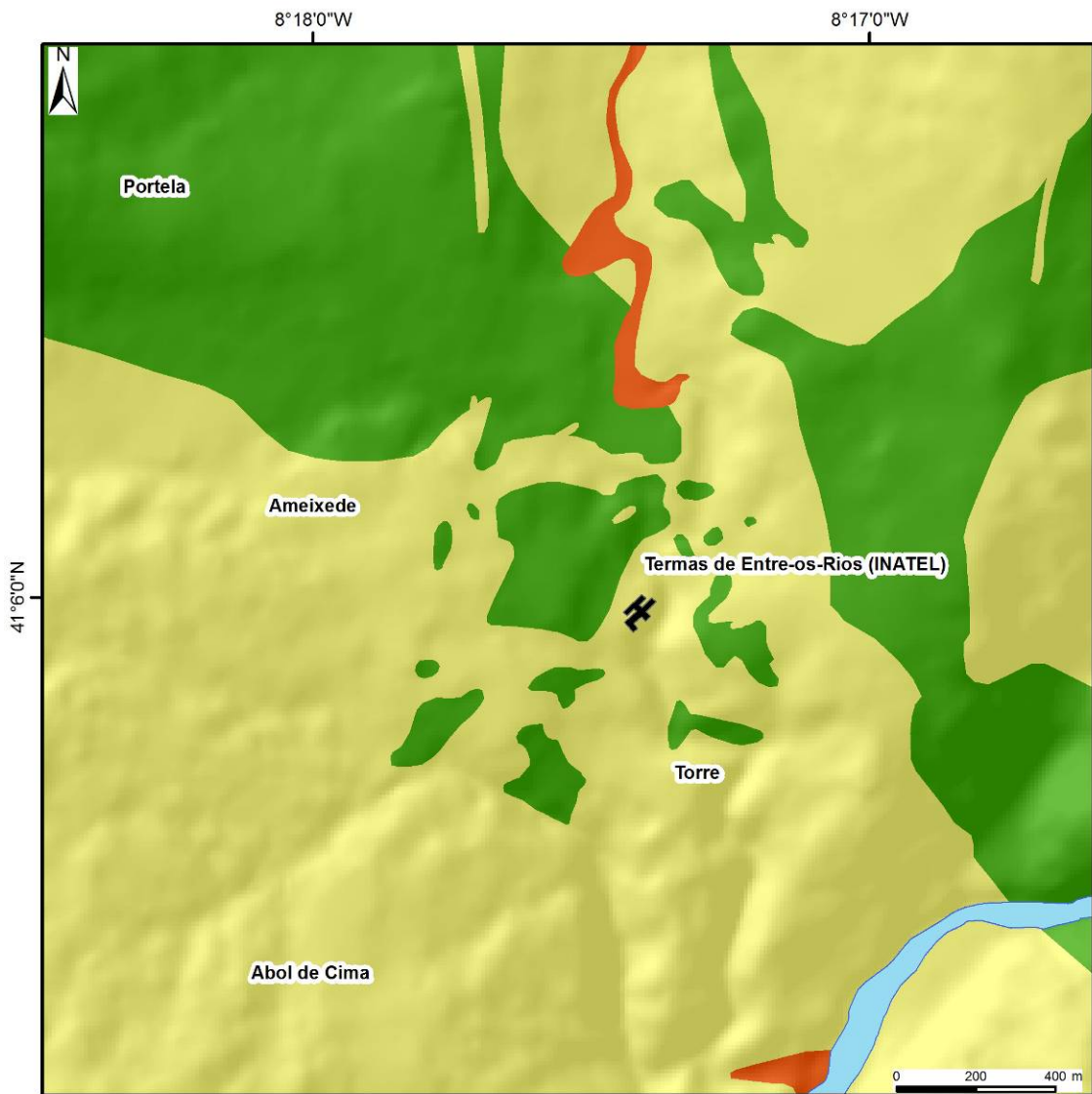
Base topográfica: Carta Militar de Portugal Série M888 - 1/25 000, folhas 123, 124, 134 e 135  
 Base geológica adaptada e reinterpretada de: Pereira et al., 1989; A.Cavaco, 1987; Medeiros et al., 1981 e Medeiros, 1963  
 Sistema de coordenadas: Hayford-Gauss referidas ao Ponto Central

**Inventário Hidrogeológico** — · Lineamentos tectónicos foto-interpretados

- Água mineral**
- Furo
  - Reservatório
  - Mina
  - Poço
  - ↗ Nascente
- Água normal**
- Poço
  - Fonte
  - Mina
  - Reservatório
  - ↗ Nascente
  - Furo
- Rede Viária**
- ▲ Vértices geodésicos
  - ♣ Balneário Termal INATEL (Entre-os-Rios)
  - == Estradas Nacionais
  - == Estradas Municipais
  - Ruas
  - Caminhos e Carreiros

Unidades Hidrogeológicas		Tipologia dos Aquíferos							
		Ligação à rede hidrográfica		Tipo de escoamento		Horizonte de alteração			
		tem	não tem	meio poroso	meio fraturado	espessura baixa	espessura alta	argiloso	arenoso
Rochas sedimentares	Aluviões actuais	x		x		x		x	x
Rochas graníticas	Granodiotitos e raras quartzodiotitos biotíticos		x		x	x		x	
	Granito porfirítico, de grão médio a grosseiro, com duas micas, essencialmente biotítico		x		x		x	x	x
Rochas ígneas	Rochas básicas (Doleritos)		x		x			x	
	Microgranitos de duas micas, essencialmente biotíticos		x		x			x	

Figura 273 – Mapa hidrogeológico da área das Termas de Entre-os-Rios.



**Índice GOD**

**Vulnerabilidade**

- Muito baixa (<0,1)
- Baixa (0,1 - 0,3)
- Alta (0,5 - 0,7)

☒ Balneário Termal INATEL (Entre-os-Rios)

	<b>Unidades hidrogeológicas</b>			
	<i>Coluviões e/ou eluviões</i>	<i>Granodioritos e quartzodioritos biotíticos</i>	<i>Granito porfiróide, de grão grosseiro</i>	<i>Rochas filonianas (doleritos, microgranitos)</i>
<b>G</b>	livre	confinado	confinado / semi-confinado	confinado / semi-confinado
<b>O</b>	areias e cascalhos aluvionares	formações magmáticas	formações magmáticas	formações magmáticas
<b>D</b>	< 5 m	5-20 m	5-20 m	5-20 m

Figura 274 - Índice de vulnerabilidade GOD, para as unidades hidrogeológicas da área de Entre-os-Rios.

### 5.5.6. Cartografia hidrogeomorfológica: esboço do potencial de infiltração

À semelhança dos sectores anteriores, a elaboração da cartografia hidrogeomorfológica, nomeadamente, do índice do potencial de infiltração, esteve assente na base SIG criada, e seguindo a abordagem metodológica apresentada no ponto 5.2. Seguidamente, apresentam-se os mapas temáticos produzidos, bem como os factores de ponderação e pesos específicos atribuídos a cada parâmetro, na área de Entre-os-Rios.

Na abordagem metodológica aqui apresentada não foram alterados os valores máximos atribuídos a cada parâmetro, tendo sido igualmente atribuído maior peso à *litologia*, considerando também o seu *grau de alteração* (20%) e a *densidade de lineamentos tectónicos* (20%) conforme descrito no capítulo 2. Com base nos critérios descritos e nos dados de terreno recolhidos, foram atribuídos pesos, conforme se indica no quadro 57, à litologia e grau de alteração do maciço, bem como à densidade de lineamentos tectónicos, dos quais resultaram nos mapas das figuras 275 e 276.

Quadro 57 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores litologia / grau de alteração e densidade de lineamentos tectónicos.

Litologia / Grau de alteração	Peso específico	Densidade de lineamentos tectónicos	Peso específico
Terraços, aluviões	20	Alta (> 21/km <sup>2</sup> )	20
Granodiorito, pouco alterado	5	Média (14-21/km <sup>2</sup> )	15
Granito porfiróide, de grão grosseiro, medianamente alterado	12	Baixa (7-14/km <sup>2</sup> )	10
Filões de microgranito	15	Muito baixa (< 7/km <sup>2</sup> )	5

Na área de Entre-os-Rios foram então identificadas essencialmente rochas granitoides, que se descrevem sucintamente nos pontos seguintes, retomando algumas das informações anteriormente apresentadas, relativamente à caracterização geológica local, e que estiveram na base da ponderação atribuída a cada litotipo.

Os *Granodioritos e quartzodioritos biotíticos* correspondem a uma rocha de grão fino a muito fino, de cor escura, e por vezes de textura porfiróide. Em geral, esta rocha apresenta-se sã a pouco alterada ( $W_{1-2}$ ). Em termos espaciais, predominam sobretudo a Noroeste da área de estudo.

O *Granito porfiróide, de grão grosseiro, de duas micas, essencialmente biotítico* corresponde a uma importante mancha na região Sul e Este da área de estudo. É uma rocha granítica, com textura porfiróide, de grão grosseiro (embora possa passar, localmente, a grão médio), de duas micas mas essencialmente biotítico. A reinterpretção do perfil do furo AC2 (A.Cavaco, 1990), bem como a observação dos taludes na área de estudo permite inferir uma espessura no manto de alteração desta rocha entre os 10 e 15

m, com um grau de alteração que por vezes pode ser muito elevado (W<sub>4-5</sub>). É um granito, em geral, bastante fracturado, e por vezes deformado.

Os *Microgranitos de duas micas, essencialmente biotíticos* correspondem a estruturas filonianas, com espessuras que não ultrapassam 0,5m. Apresentam um grão muito fino, e é notório o domínio da biotite, que lhes confere uma cor em geral escura a acinzentada, quando frescos. Estes microgranitos parecem estar instalados em linhas de fragilidade estrutural do maciço, e como foi referido, poderão condicionar, em parte, a emergência das águas minerais.

Foi registada ainda, no fundo do vale da Ribeira de Matos, a Norte das Termas de Entre-os-Rios, uma pequena mancha de aluviões.

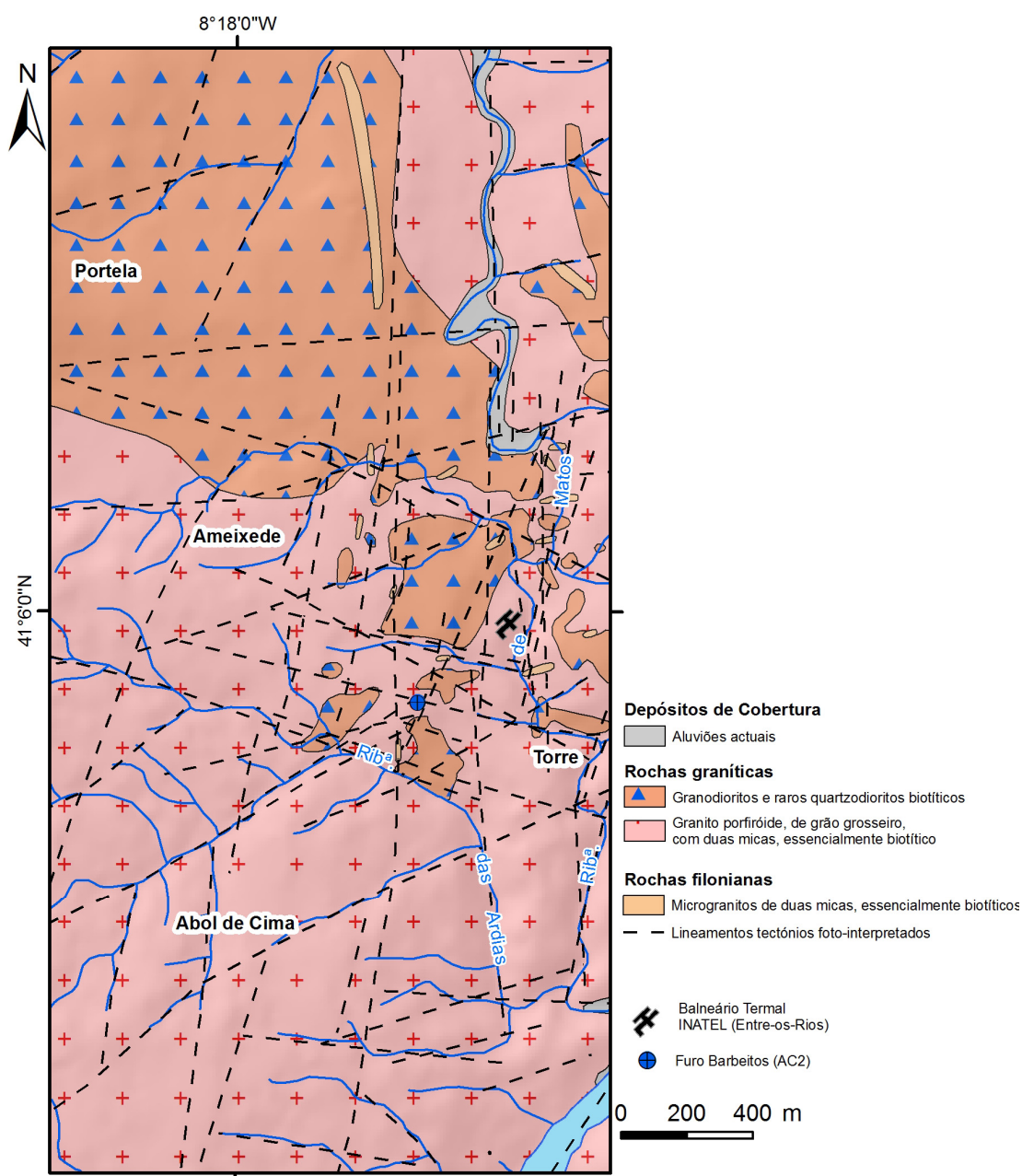


Figura 275 – Mapa da litologia e grau de alteração da área das Termas de Entre-os-Rios.

Relativamente à densidade de lineamentos tectónicos, as áreas de maior densidade concentram-se sobretudo na região entre a Torre e Ameixede. Regista-se ainda uma tendência geral concordante com as principais linhas de fracturação do maciço, de alinhamento dos maiores valores de densidade de lineamentos tectónicos em corredores, com direcção predominante N-S.

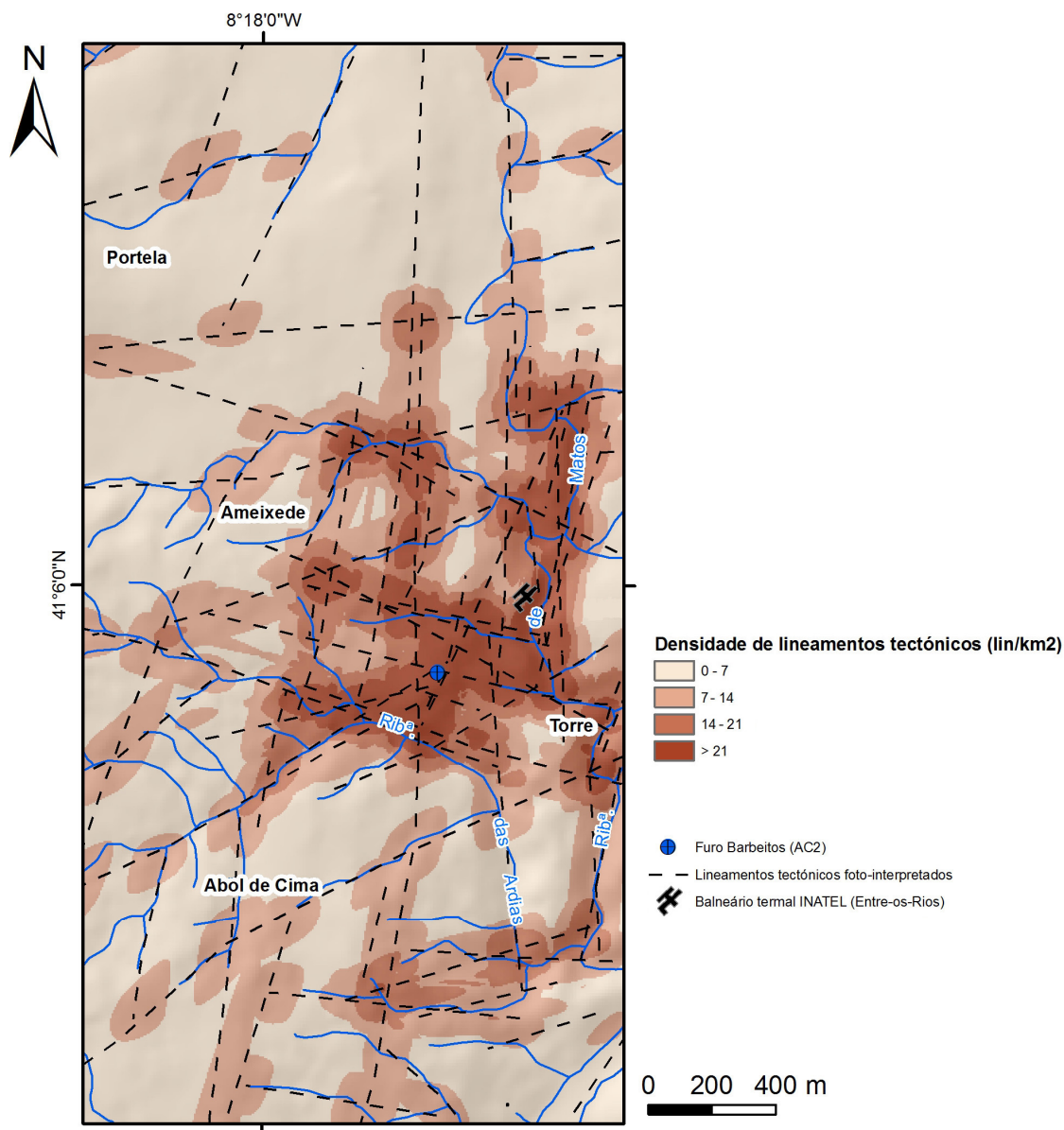


Figura 276 - Mapa da densidade de lineamentos tectónicos da área das Termas de Entre-os-Rios.

A *ocupação do solo* é também um importante factor no potencial de infiltração de uma determinada área, tal como foi referido em capítulos anteriores. Assim, atribuiu-se um peso máximo de 15% às áreas florestais, peso este que varia gradualmente, até se atingirem valores nulos em áreas impermeabilizadas (quadro 58). O mapa resultante é apresentado na figura 277. Relativamente à *densidade da rede de drenagem*, tal como

nos casos anteriores, assumiu-se que o escoamento superficial será uma função inversa da circulação subterrânea (*i.e.*, quanto maior for a quantidade de água que se esco superficialmente, menor será a quantidade disponível para infiltração e recarga dos aquíferos), sendo assim atribuído um peso superior às áreas com menor densidade de drenagem (quadro 58, figura 278).

Quadro 58 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores ocupação do solo e densidade da rede de drenagem.

Ocupação do solo	Peso específico	Densidade da rede de drenagem	Peso específico
Áreas urbanizadas	2	Muito baixa (< 3,5/ km <sup>2</sup> )	15
Áreas florestais	15	Baixa (3,5 - 7/ km <sup>2</sup> )	13
Áreas agrícolas, pomares e vinha	12	Média(7 - 10,5/ km <sup>2</sup> )	10
Vegetação arbustiva	10	Alta(> 10,5 / km <sup>2</sup> )	8

Neste sector de estudo é visível a predominância das áreas agrícolas, pomares e vinha. Alguns destes terrenos agrícolas encontram-se, conforme foi verificado durante os trabalhos de campo, abandonados, e por vezes cobertos de vegetação herbácea.

As áreas florestais encontram-se dispersas, em pequenas manchas, pela área de estudo. A única excepção encontra-se numa grande área, localizada a Oeste de Abol de Cima. A vegetação arbustiva apresenta representatividade muito reduzida, estando, geralmente, associada à mancha florestal.

Relativamente à mancha urbana, estão representados os principais aglomerados, com representatividade cartográfica à escala considerada. No entanto, verificou-se, quer pela observação de ortofotmapas quer durante os trabalhos de campo, a existência de povoamento disperso, sem leitura e representatividade à escala de trabalho considerada. Em termos espaciais, verificou-se que as densidades mais elevadas da rede hidrográfica se concentram essencialmente em troços da Ribeira das Ardias e da Ribeira de Matos, onde, numa pequena extensão, se juntam à principal linha de água outros pequenos afluentes.





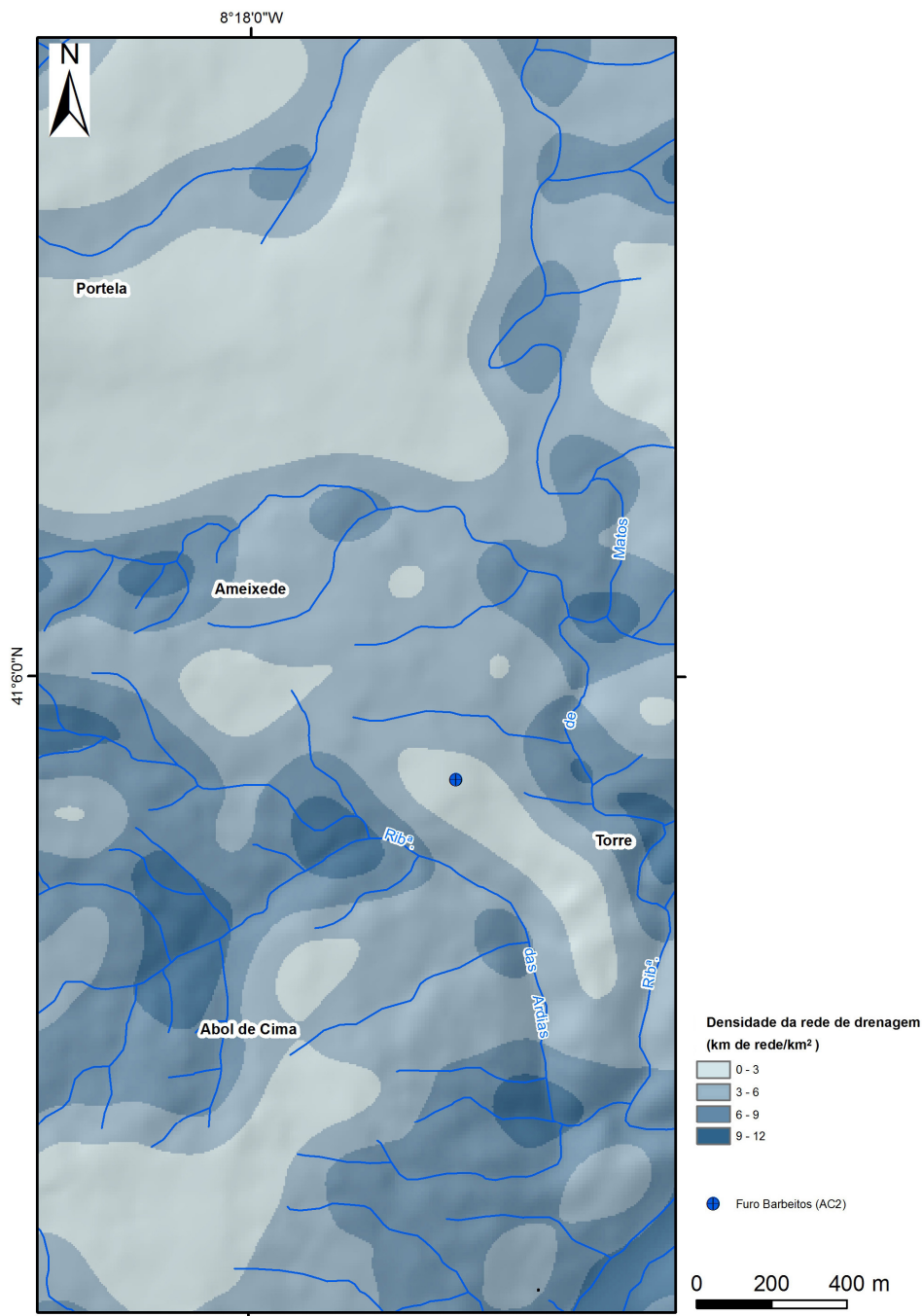


Figura 278 – Mapa da densidade da rede de drenagem da área das Termas de Entre-os-Rios.

Tal como foi visto nos sectores anteriores, os *declives* apresentam-se também como um factor muito importante na explicação do potencial de infiltração de uma determinada área, e por isso foi-lhe atribuído um peso máximo de 20%, que corresponderá às áreas planas, ou com declives inferiores a 5°. Os declives da área de Entre-os-Rios são, em geral, relativamente baixos. No entanto, registaram-se, nas vertentes da Ribeira de Matos e da Ribeira das Ardias, declives bastante elevados, que ultrapassam os 25°.

A *precipitação*, calculada através do método de interpolação IDW, em ambiente SIG, a partir das estações climatológicas representativas da precipitação na área envolvente às

Termas de Entre-os-Rios (INAG, 2009), apresenta, no caso concreto das Termas de Entre-os-Rios, apresenta variações espaciais muito pouco acentuadas, pelo que se atribuiu um peso máximo baixo, de 10% à componente precipitação (quadro 59). Os mapas resultantes destes dois factores podem ser observados nas figuras 279 e 280.

Quadro 59 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores declives e precipitação.

Declives	Peso específico	Precipitação	Peso específico
Muito baixo (0° - 5°)	20	> 1220 mm/ano	10
Baixo (5° - 15°)	15	1200 - 1220 mm/ano	8
Médio (15° - 25°)	10	1180 - 1200 mm/ano	6
Alto (> 25°)	5	< 1180 mm/ano	4

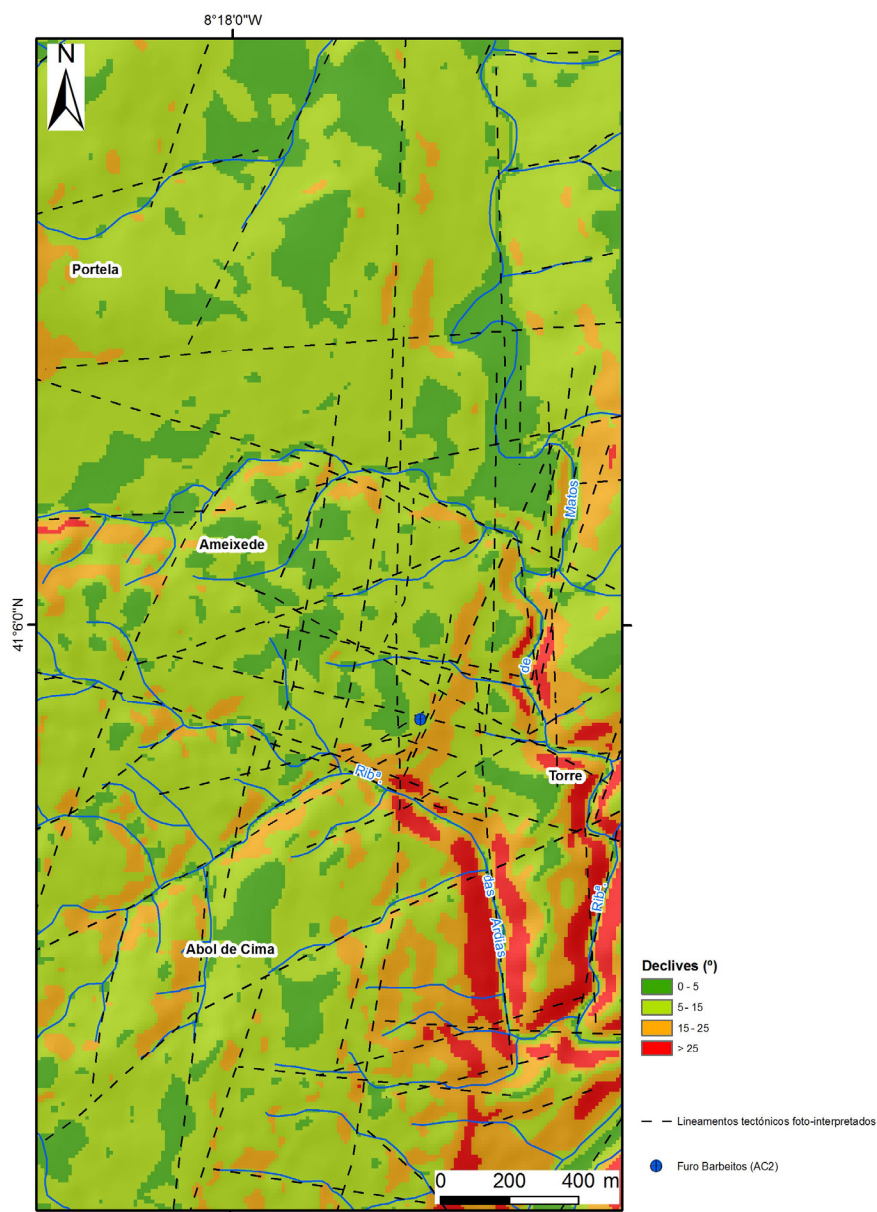


Figura 279 – Mapa de declives da área das Termas de Entre-os-Rios.

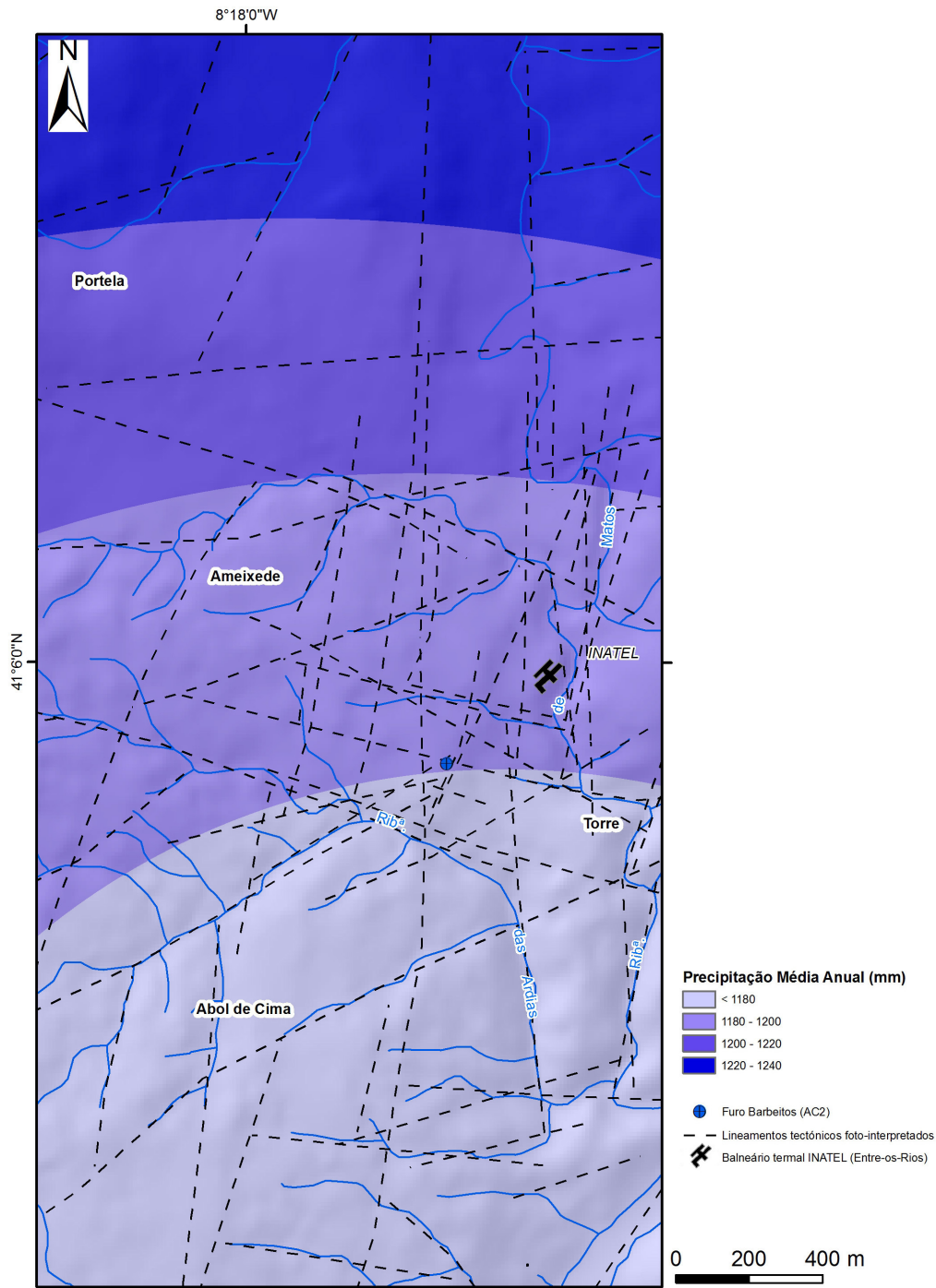


Figura 280 – Mapa da precipitação média anual da área das Termas de Entre-os-Rios.

Do cruzamento e análise destes dados, em ambiente SIG, resultou num mapa em que é possível identificar as áreas com maior potencial de infiltração, isto é, as áreas em que a combinação de todos os factores enunciados é mais elevada. Os valores calculados foram então agrupados em três classes: baixo (<math>< 50\%</math>), médio (<math>50-75\%</math>) e alto (<math>75-100\%</math>), (figura 281).

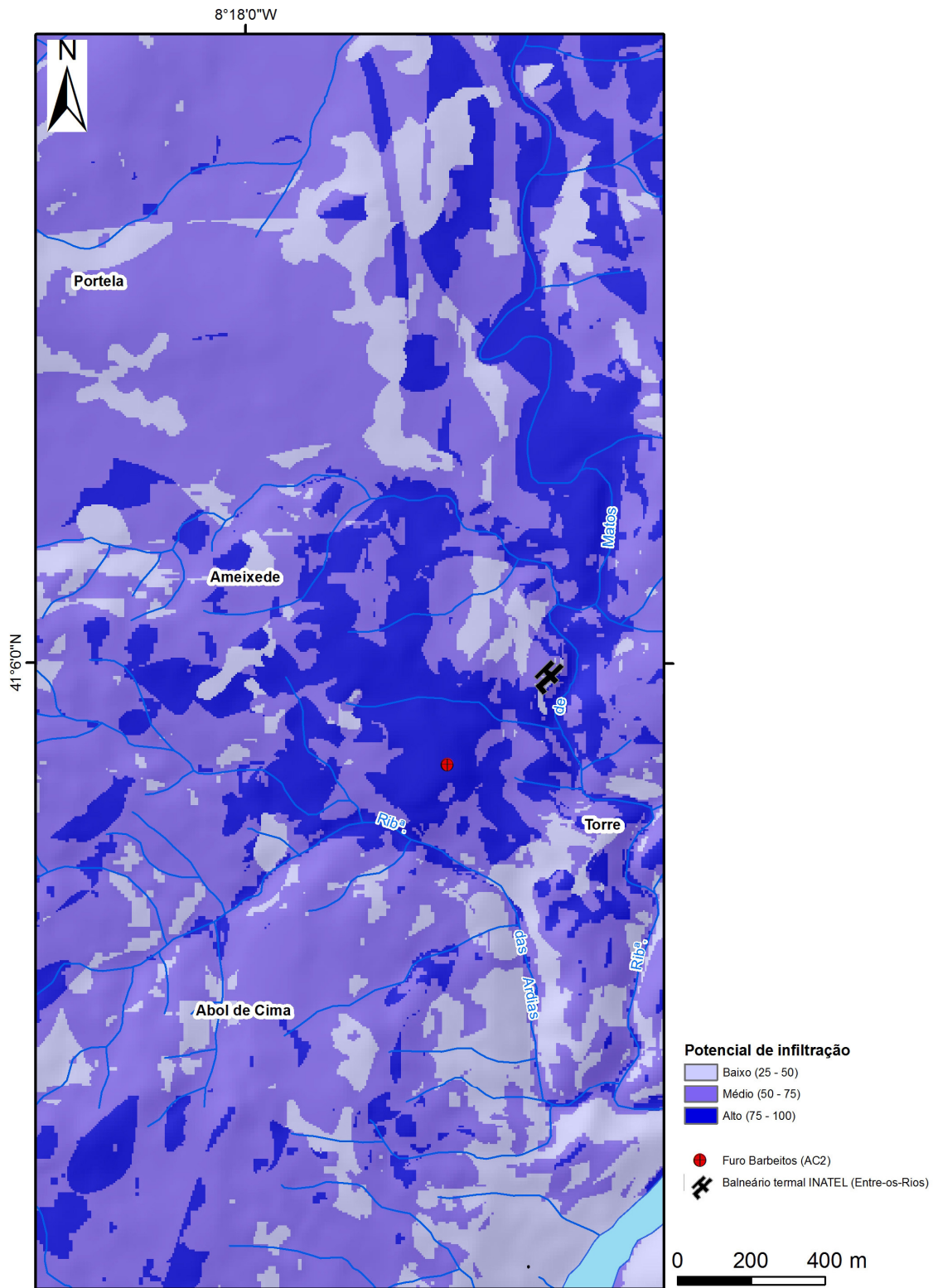


Figura 281 – Potencial de infiltração da área das Termas de Entre-os-Rios.

A sobreposição deste mapa com o mapa geomorfológico permite assim uma leitura integradora dos locais mais relevantes em termos de infiltração na área das Termas de Entre-os-Rios, contribuindo também para o refinamento do modelo hidrogeológico

---

conceptual que se apresenta seguidamente. Da análise do mapa, ressalta que as áreas com maior potencial de infiltração (figura 282) estão localizadas sobretudo entre a povoação de Ameixede e a área do Balneário termal, sendo delimitadas a Sul pela Ribeira das Ardias, bem como em direcção a Norte, tornando-se cada vez mais expressivas à medida que o vale da Ribeira de Matos se torna mais amplo e aplanado. Estas áreas resultam da combinação favorável dos factores principais: litologia (cobertura sedimentar ou rochas graníticas alteradas) e declives baixos (fundo de vale aplanado). As áreas de médio potencial de infiltração correspondem sobretudo a áreas de vertente, e estão relacionadas sobretudo com a presença de áreas graníticas menos alteradas e menos fracturadas, e em que os declives apresentam valores por vezes elevados. As áreas que apresentam potencial de infiltração muito reduzido decalcam, grosso modo, as áreas menos favoráveis em termos de ocupação do solo, estando por isso mais impermeabilizadas.

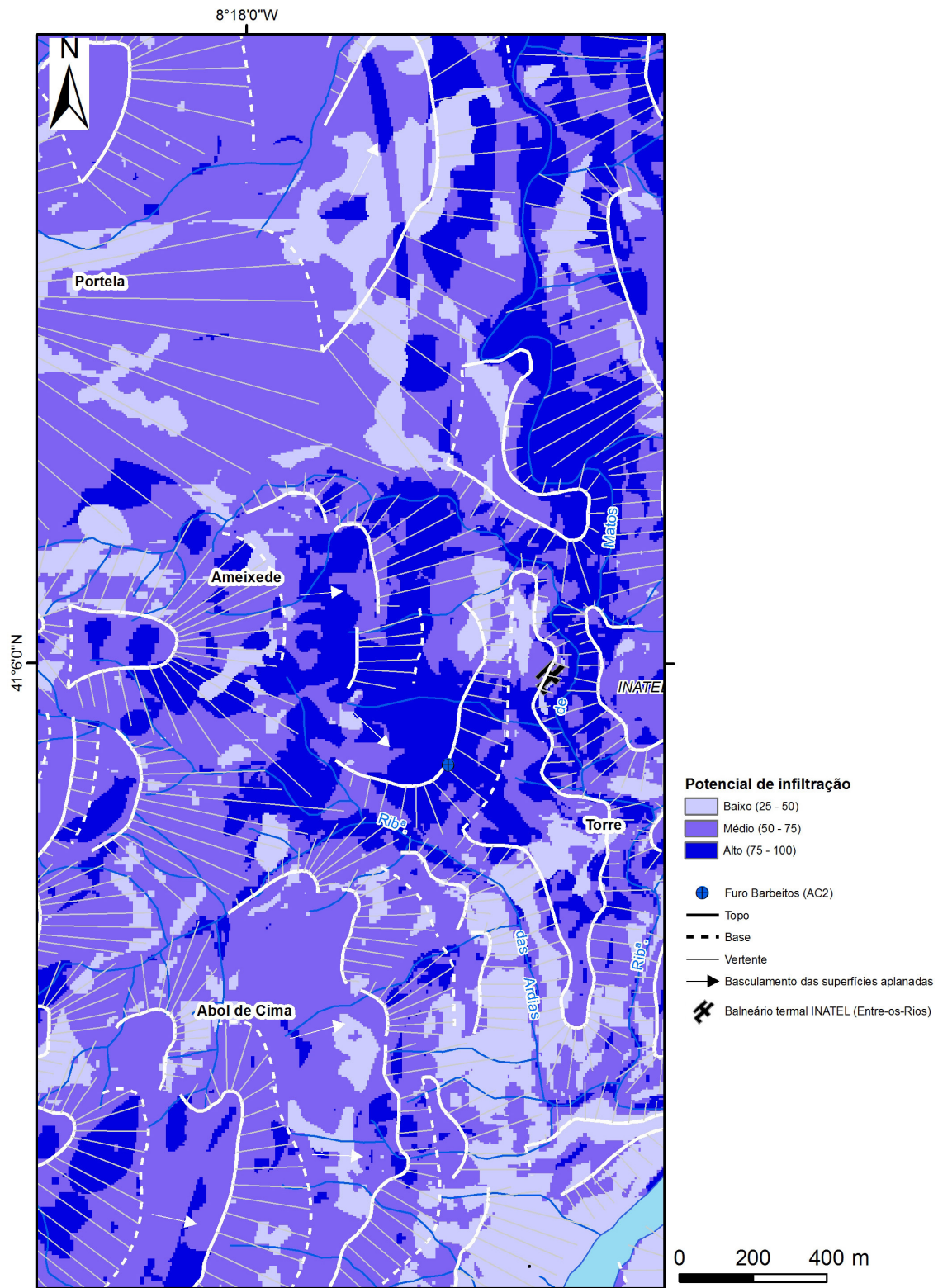


Figura 282 – Mapa hidrogeomorfológico da área das Termas de Entre-os-Rios.

---

## SECTOR II – Serra da Gardunha

### 5.6. Pólo do Alardo (Castelo Novo, Fundão)

As investigações aqui apresentadas dizem respeito aos estudos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos desenvolvidos, em especial no vale da “Ribeira da Pradaria” incluída na bacia da Ribeira de Alpreade e localizado no sector Noroeste da área de concessão hidromineral HM-51 Alardo. As nascentes e as captações da referida empresa localizam-se na freguesia de Castelo Novo (Fundão).

Os dados apresentados neste pólo de estudo correspondem ao retomar das investigações em que o signatário esteve amplamente envolvido, na área do Alardo, destacando-se os trabalhos publicados por LABCARGA (2006) e Teixeira et al. (2009a), sob a coordenação dos Professores J. Martins Carvalho e H. I. Chaminé. Na presente dissertação são incorporados, sintetizados e re-interpretados os estudos referidos, bem como numerosos dados técnico-científicos compilados dos seguintes trabalhos: GeoEstudos, 1990; Abrunhosa & Lobo, 1991; GeoAmbiente, 1991, 1992; Fundágua, 1994; Ribeiro dos Santos, 1994; Ratinho, 1999; Resende, 2005; LABCARGA, 2006 e Carvalho, 2005.

As nascentes e as captações da empresa “Águas do Alardo, Lda.” localizam-se na localidade de Castelo Novo, no Concelho do Fundão, no quadrante Este da Serra da Gardunha, entre as cotas de 680 m e 730 m. A empresa tem uma área de concessão à superfície de 100 ha, definida oficialmente no Diário do Governo nº 174, II série, de 29/Julho/1922 (Acciaiuoli, 1952/53).

O Concelho do Fundão situa-se no limite Norte da província da Beira Baixa, na região da Cova da Beira. A Serra da Gardunha é a área mais alta de um conjunto de elevações, de orientação NE-SW, com uma extensão de aproximadamente 60 km (figura 283 e figura 284). Esta Serra ergue-se a partir de uma região grosseiramente aplanada, a cotas situadas entre os 400 e os 450 m, que se estende a Sul até Castelo Branco e a Norte constitui uma extensa planura (a Cova da Beira) que se prolonga até ao sopé do Maciço Central, a Serra da Estrela. A Serra da Gardunha situa-se entre dois grandes pólos urbanos da região, a Norte as localidades da Covilhã e do Fundão e a Sul as localidades de Castelo Branco e Alcains.



Figura 283 – Aspecto do maciço da Serra da Gardunha, visto de Castelo Novo.



Figura 284 - Enquadramento topográfico da área do Alardo (Castelo Novo).



---

### **5.6.1. Enquadramento geológico local**

A geologia do sector de Castelo Novo é dominada pela ocorrência de rochas graníticas (figura 285 e figura 286), relacionadas com a orogenia varisca, e incluídas tradicionalmente no denominado Maciço Antigo Português (*cf.* Oliveira et al., 1992; Dias, 2001) do Terreno Autóctone Ibérico (Ribeiro et al., 1990b). Ocorrem ainda depósitos de cobertura, de origem sedimentar, muito localizados e de reduzida expressão cartográfica relacionados com as linhas de água.

Nas imediações aflora uma estreita mancha de rochas metassedimentares do Proterozóico Superior (Complexo Xisto-Grauváquico, CXG, do Grupo das Beiras), correspondendo à extensa faixa, constituída por alternâncias de xistos argilosos ou argilo-gresosos e grauvaques acinzentados, entre Capinha e Penamacor (Gama Pereira, 1976). A estreita mancha referida é formada, localmente, por auréolas de xistos mosqueados e corneanas (Gama Pereira, 1976), separando o plutonito do Fundão (Costa et al., 1971; Portugal Ferreira et al., 1977; Soares et al., 1985; Pacheco & van der Weijden, 1996) do batólito granítico de Castelo Branco–Idanha-a-Nova (Gama Pereira, 1976; Oliveira et al., 1992).

Os granitóides distribuem-se, no Noroeste Peninsular, em largas faixas, lateralmente aos megacisalhamentos de orientação geral NW-SE (Dias, 2001). Os referidos granitóides estão também controlados por sistemas de fracturas, essencialmente frágeis, com orientação NNE-SSW (falha de Bragança–Vilariça–Manteigas, FBVM) e NE-SW (falha de Gouveia–Seia–Lousã, FGSL). Segundo a sistematização de rochas graníticas de Ferreira et al., 1987, baseada essencialmente na intensidade da deformação impressa nas suas texturas e no enquadramento geotectónico, o maciço de Castelo Novo inclui-se nos granitóides da Série Tardia (tardi a pós-tectónicos relativamente à 3ª fase regional de deformação Varisca (*cf.* Oliveira et al., 1992).

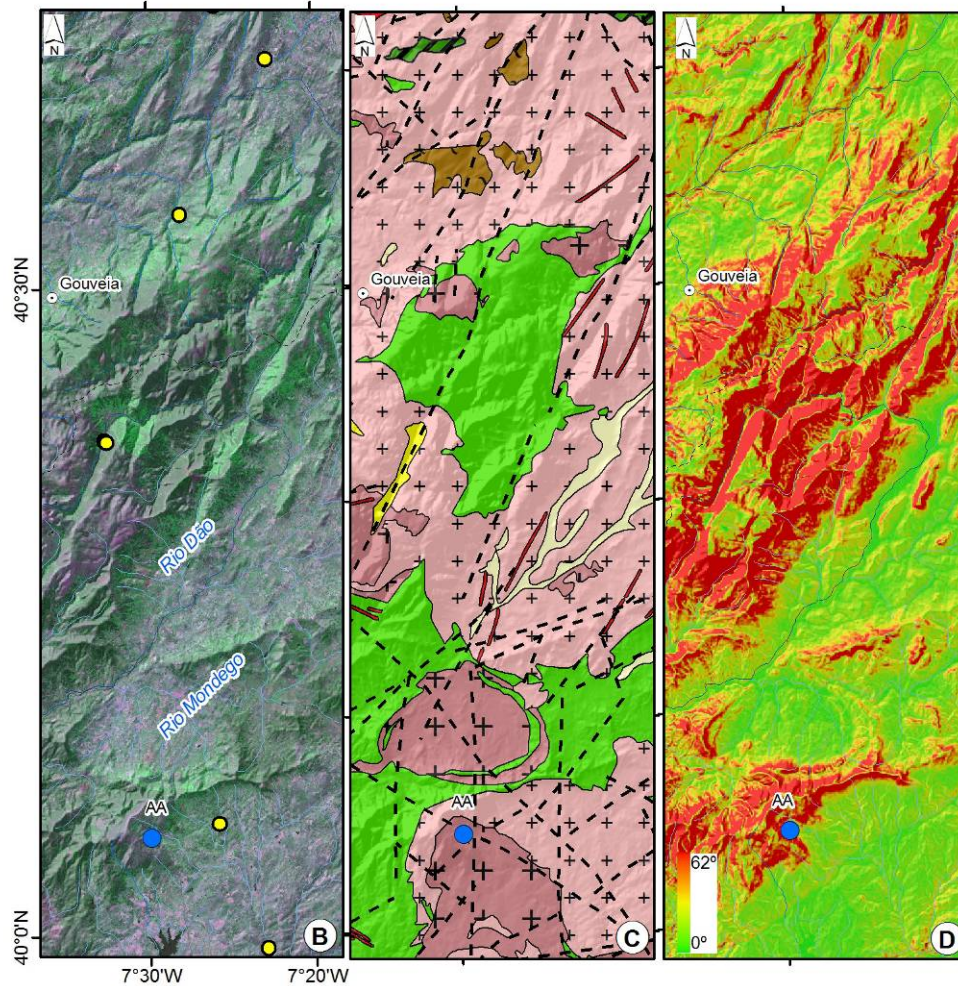
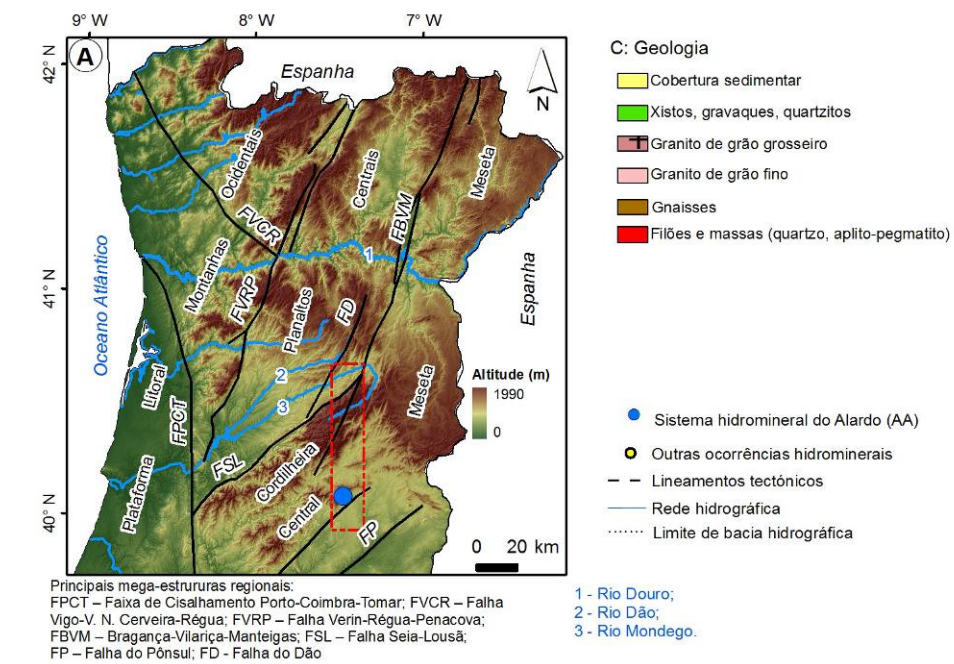


Figura 285 - Enquadramento regional da área das Águas do Alardo.

A) enquadramento morfotectónico regional; B) imagem de satélite (adaptada de Landsat 7 ETM+ 2000/01; bandas 7-4-5= RGB) e nascentes hidrominerais (adaptadas de Carvalho 2006); C) relevo sombreado e geologia regional (adaptado de Oliveira et al. 1992); D) declives.

Um aspecto geológico relevante a destacar é a existência, no quadro regional (figura 286), de estruturas filonianas quartzosas, com orientação média NE-SW, a acompanhar os sistemas de fracturação regional com a mesma direcção, especialmente na área a Norte do Fundão. São de referir, ainda no contexto regional, a ocorrência de estruturas filonianas básicas (microdioritos, doleritos, pórfiros riolíticos, pórfiros graníticos, etc.; cf. Oliveira et al., 1992), com orientação geral N-S a NNE-SSW e WNW-ESE a NW-SE. Thadeu (1949) refere que nas rochas xistosas do CXG (*in* Gama Pereira, 1976) aflorantes na região do Fundão são comuns as ocorrências de filões básicos, cujo grão, em regra, é pouco grosseiro e encontram-se, frequentemente, muito alterados.

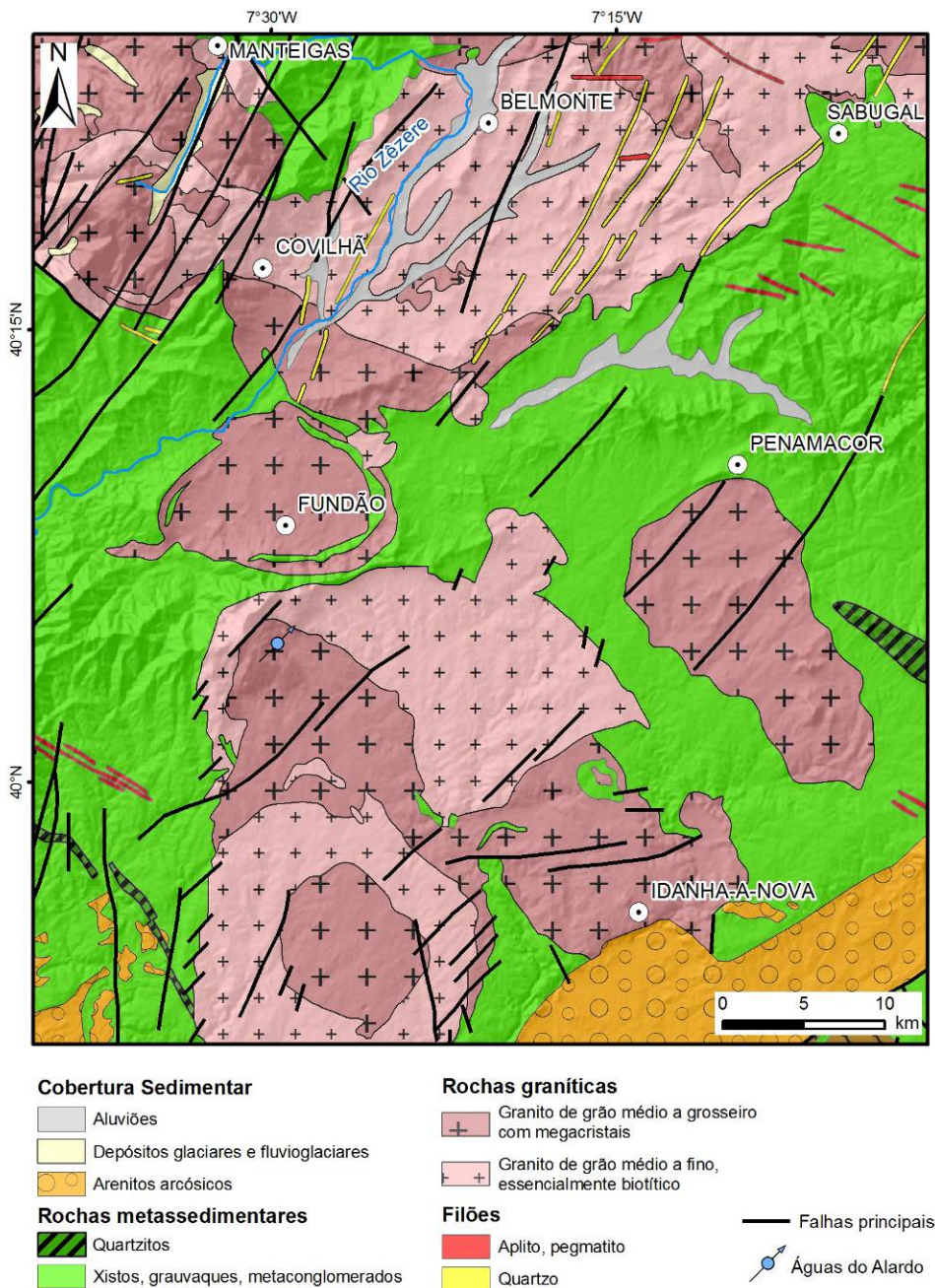


Figura 286 - Esboço geológico regional de Castelo Novo, Fundão (adaptado e reinterpretado de Conde, 1983 e Oliveira et al., 1992).

---

O reconhecimento da geologia de campo efectuado na área em estudo permitiu caracterizar em afloramento, principalmente, a heterogeneidade litológica, o estado de alteração e a fracturação local do maciço. Procedeu-se igualmente à execução de um estudo geológico-geotécnico, a diferentes escalas, de modo a cruzar toda a informação disponível e recolhida durante os trabalhos de campo.

Na caracterização e descrição geológica pormenorizada da área recorreu-se às técnicas básicas já descritas da geologia de campo, da geologia estrutural, da geotecnia de maciços rochosos e da hidrogeologia aplicada (e.g., Fetter, 2001; Ferrer & González de Vallejo, 2007). No estudo da fracturação e da alteração local procedeu-se a um reconhecimento das descontinuidades (diaclases, falhas, etc.) em afloramento, com base nos critérios definidos e recomendados pela ISRM (1978b, 1981) para estudos de compartimentação de maciços rochosos e, ainda, pelo CFCFF (1996).

### Litologia

Na área de Castelo Novo foram reconhecidos afloramentos de um granito composto por megacristais de feldspato, por vezes bem desenvolvidos (dimensão decimétrica a centimétrica) e dispersos numa matriz de grão médio a grosseiro (figura 287). Este granito apresenta uma coloração dominante cinza-esbranquiçada, com passagens a tons amarelados. Observaram-se, também, encraves microgranulares no seio dos corpos graníticos mas sem expressão cartográfica.

Foram, igualmente, identificados e cartografados na área em estudo filões de quartzo sub-verticais com possanças que variam entre alguns centímetros e 1,5 m. Estes são, em regra, descontínuos e distribuem-se regionalmente em faixas. Estão, regra geral, brechificados e recristalizados polifasicamente e, no contacto com o granito, encontram-se muito fissurados e alterados. Alguns veios de quartzo acompanham diferenciados aplito-pegmatíticos.

Foram ainda reconhecidos alguns depósitos alteríticos, sem expressão cartográfica, que bordejam a margem da Ribeira de Alpreade, controlada tectonicamente, com orientação geral NW-SE. Estes são constituídos, no geral, por materiais argilo-arenosos, constituindo bons solos agrícolas.

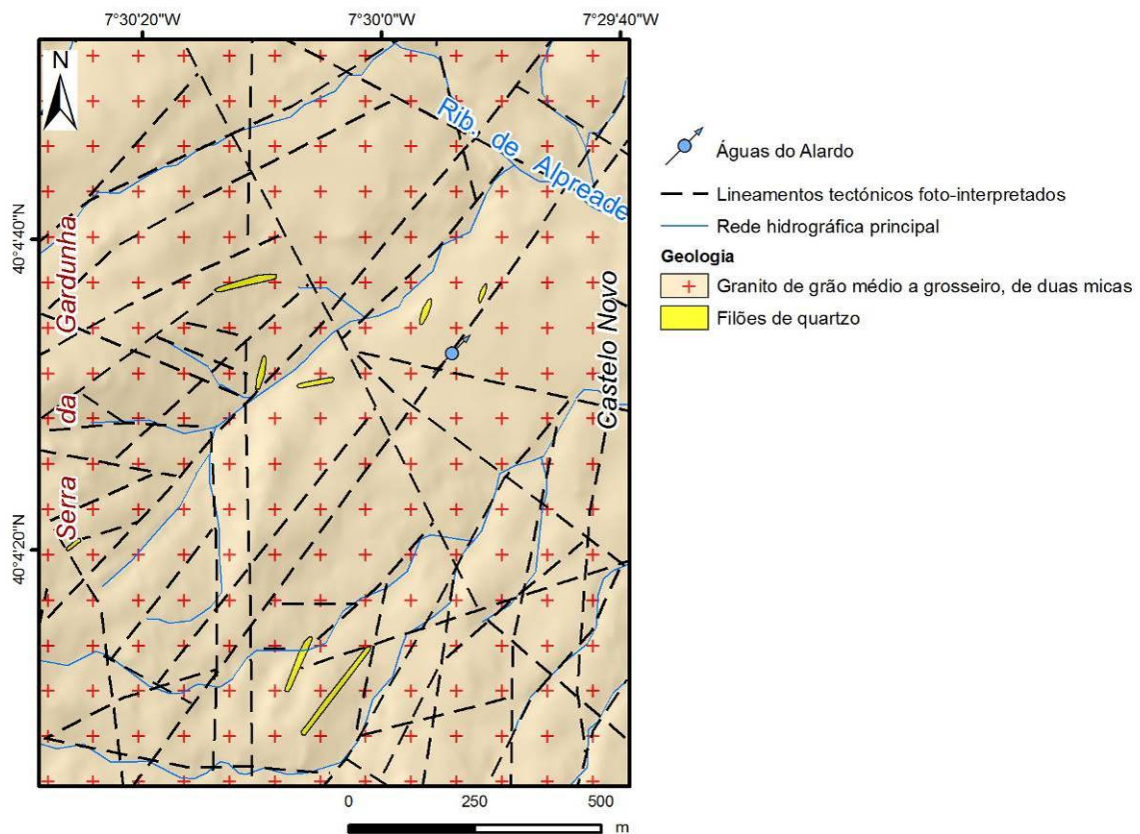


Figura 287 - Esboço geológico local da área do Alardo, com diagrama de rosetas dos lineamentos tectónicos fotointerpretados.

### Estrutura

A área que foi objecto de estudo geológico pormenorizado não ultrapassa os 1051 m de altitude (v.g. Castelo). Este sector da Serra da Gardunha é constituído por um relevo vigoroso granítico, de forma subcircular, sendo compartimentado, em grande, segundo a orientação geral NW-SE, NE-SW e WNW-ESE. Assumem também importância local os lineamentos com orientação geral N-S a NNW-SSE. No entanto, como se pode verificar pela figura 288, assumem maior importância à escala local as direcções NE-SW, quer pelo seu número, quer pela continuidade que apresentam.

A rede de drenagem e o relevo granítico, no sector em estudo, reflectem de uma forma inequívoca o padrão da fracturação, quer à escala cartográfica quer à escala de afloramento. A área de Castelo Novo encontra-se, assim, limitada por acidentes tectónicos, com orientação média NNW-SSE a NW-SE (subconcordante com a orientação geral do acidente tectónico do Fundão; *cf.* Conde, 1983) e a fracturação conjugada apresenta direcção geral ENE-WSW a NE-SW.

Ocorre frequentemente na área estudada uma compartimentação de falhas regionais com alguns km<sup>2</sup>, e alguns nós tectónicos resultantes da intersecção de orientações preferenciais referidas. Aliada a estas características litotectónicas convém ainda

sublinhar que os cursos de água apresentam, em regra, um traçado rectilíneo, geométrico, que resulta da sua adaptação a estreitas faixas de descontinuidades com fraqueza estrutural evidente e são sublinhadas pelo comportamento geomecânico do material rochoso.

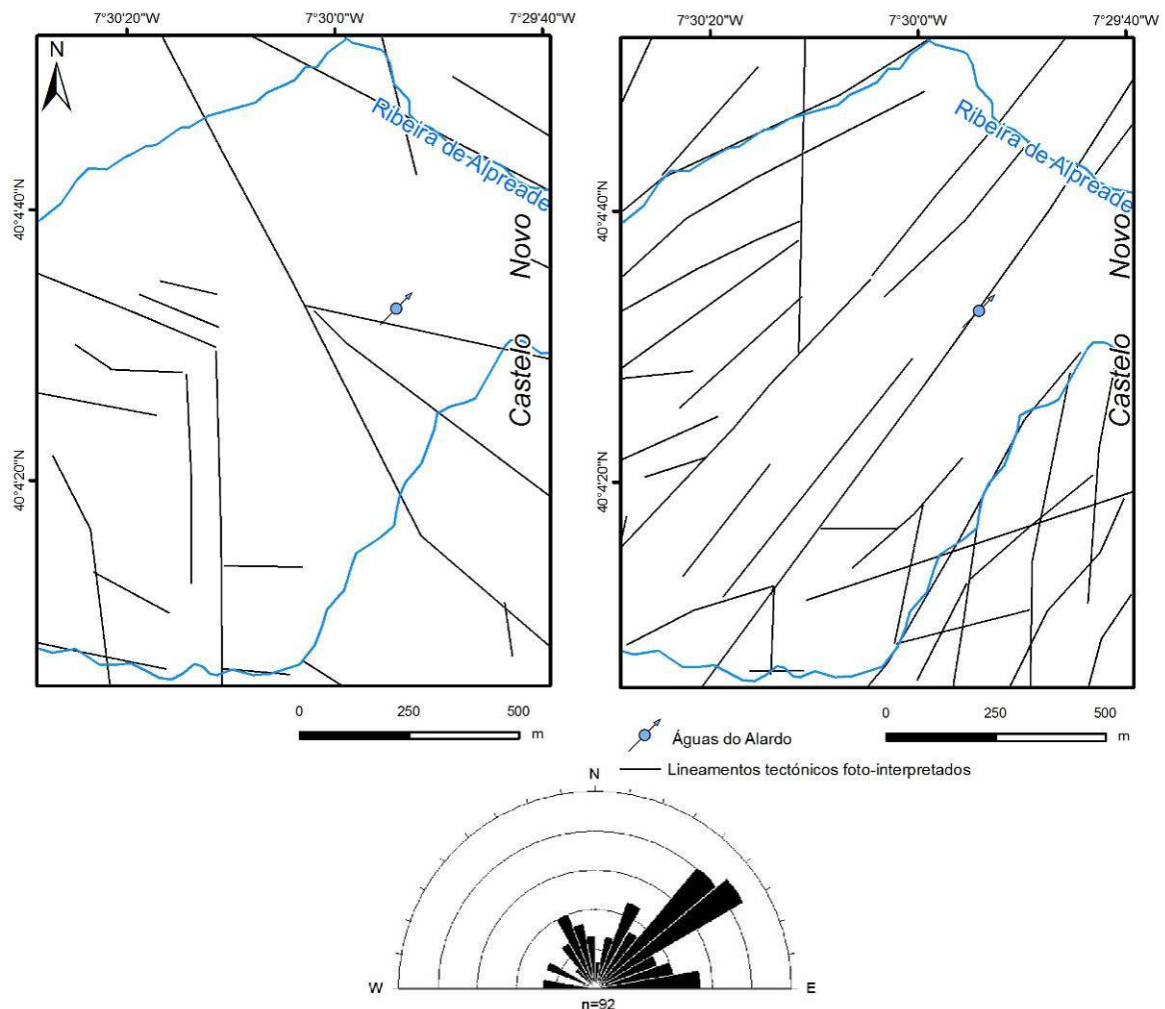


Figura 288 - Lineamentos tectónicos na área do Alardo para os quadrantes Noroeste (a) e Nordeste (b).

### Grau de Alteração e de Fracturação

Na área da Serra da Gardunha, atendendo às suas especificidades locais, não foi possível a aplicação sistemática da técnica da amostragem linear para caracterização do estado de alteração e fracturação do maciço rochoso. No entanto, sempre que possível, foram registadas as atitudes das descontinuidades, bem como foram realizados ensaios esclerométricos, que permitiram uma caracterização geral do maciço rochoso da área do Alardo.

---

A área do maciço granítico estudado está superficialmente medianamente alterada ( $W_3$ ) a pouco alterada ( $W_{1-2}$ ), à excepção de algumas faixas graníticas que poderão ser consideradas como muito alteradas e decompostas a arenizadas (do tipo saibro-argiloso,  $W_{4-5}$ ). Verificou-se também, durante os trabalhos de campo, que as zonas nas quais o granito se encontra com um grau de alteração mais intenso, i.e. medianamente alterado ( $W_3$ ) a decomposto e/ou arenizado ( $W_{4-5}$ ), correspondem a zonas morfologicamente aplanadas cujo material-rocha é um saibro granítico argilo-arenoso. Curiosamente, os furos de captação (com as designações FH e FV) clássicos do Alardo encontram-se predominantemente localizados nestas faixas mais alteradas. A análise dos registos das sondagens correspondentes aos furos referidos, apoia em parte esta ocorrência de zonas de granito mais alterado em profundidade.

As raras descontinuidades à superfície, quando visíveis, são fechadas, parcialmente colmatadas e afastadas ( $F_{1-2}$ ). A resistência à compressão uniaxial do material-rocha granítico, recorrendo a ensaios esclerométricos, foi estimada em 30 MPa, o que confere ao maciço, segundo a ISRM (1978b, 1981, 2007), uma resistência média ( $S_3$ ).

### **5.6.2. Enquadramento geomorfológico local**

A região de Castelo Novo (Fundão) enquadra-se, *sensu lato*, a oriente dos contrafortes dos maciços das Serras de Alvelos, da Gardunha e da Estrela, que constituem parte do denominado segmento Português da Cordilheira Central (e.g., Ribeiro, 1940, 1942, 1949a, 1949b, 1951; Daveau, 1985a). Numa perspectiva geomorfológica regional, o sector em questão (figura 289) situa-se na depressão morfoestrutural, dissimétrica, aplanada e designada por Cova da Beira (Ribeiro, 1939, 1942, 1944, 1949a; 1951; Thadeu, 1949) muito próximo ao relevo vigoroso da Serra da Gardunha (e.g., v.g. da Gardunha, 1219 m; v.g. do Castelo, 1051 m; v.g. da Baldeira, 887 m). Assim, a zona da Cova da Beira estende-se ao longo da Ribeira da Meimoa e alarga-se num amplo anfiteatro sobre o rio Zêzere, sendo limitada por este e pelos contrafortes da Serra da Gardunha (Ribeiro, 1949a, 1949b; Thadeu, 1949).

A ossatura da Serra da Gardunha é constituída sobretudo por rochas graníticas e metassedimentares, ostentando largas superfícies culminantes, de formas bem conservadas e atapetadas por horizontes argilo-arenosos. Estas antigas superfícies de erosão foram recentemente, na escala dos tempos geológicos, levantadas e balançadas, o que faz da Serra da Gardunha uma típica montanha de blocos em escadaria (Ribeiro, 1949b, 1949a; Ribeiro, 1954, 1970). Esta situação morfoestrutural é em tudo similar à descrita, mas aqui de uma forma exuberante, ao maciço da Serra da Estrela (e.g., Ribeiro, 1949b; 1984; Daveau, 1985a). O maciço da Serra da Gardunha é um elemento

geomorfológico determinante na paisagem da região de Castelo Novo/Alpedrinha (figura 289) e desempenha inequivocamente um papel de barreira climática, condicionando os microclimas característicos na área a Sul, que favorecem uma prática agrícola intensiva nomeadamente de vinha, de oliveira e de árvores de fruta numa vasta porção de solos férteis, instalados na extensa área aplanada que constitui a Cova da Beira.

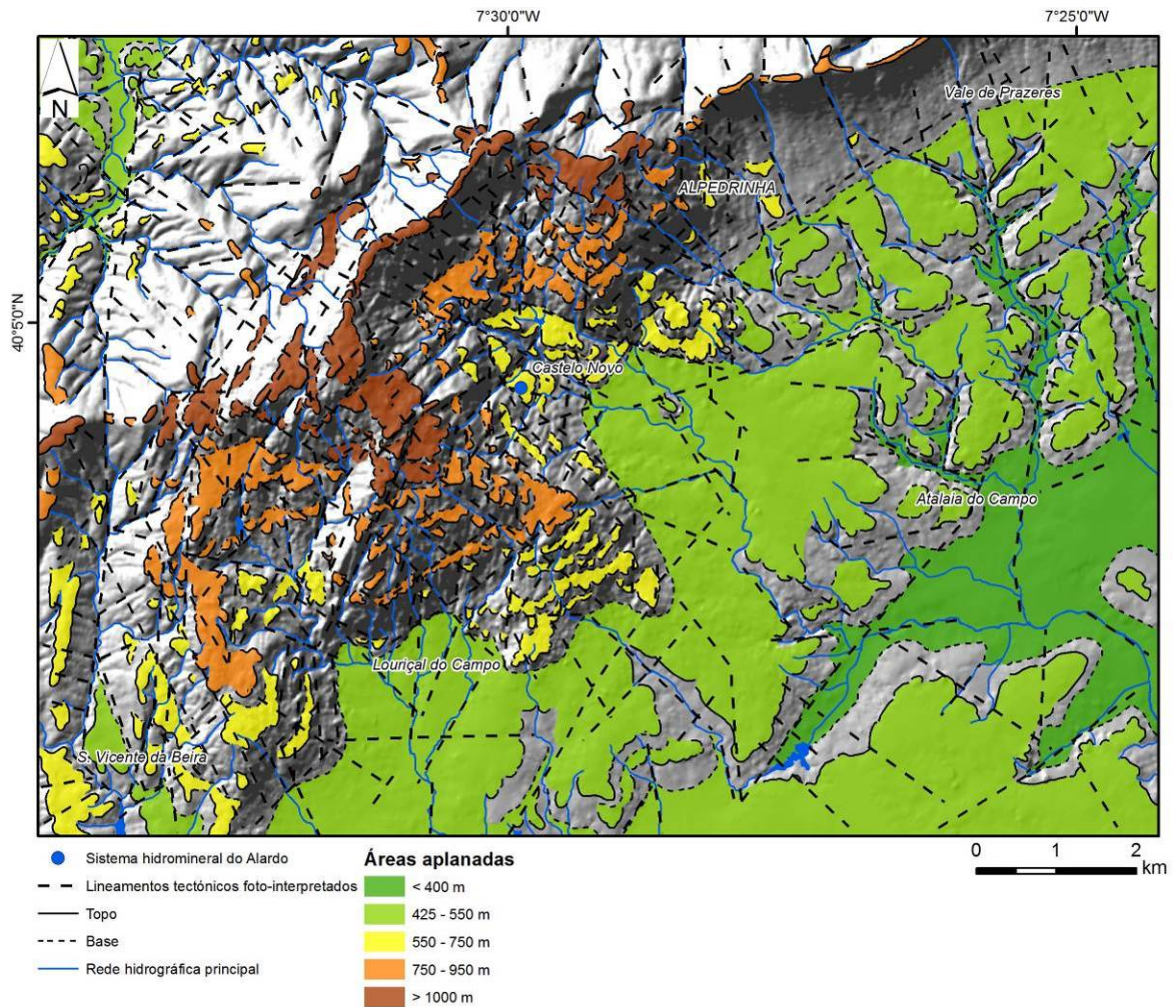


Figura 289 – Esboço geomorfológico regional da Serra da Gardunha e área envolvente.

À escala local, nas proximidades de Castelo Novo, as vertentes da Serra da Gardunha apresentam um declive elevado (figura 290), apenas interrompido por localmente por pequenos vales, aproveitados geralmente por linhas de água, com direcção predominante NE-SE. Estes locais, como se verá posteriormente, corresponderão a áreas preferenciais para a localização de captações de água.



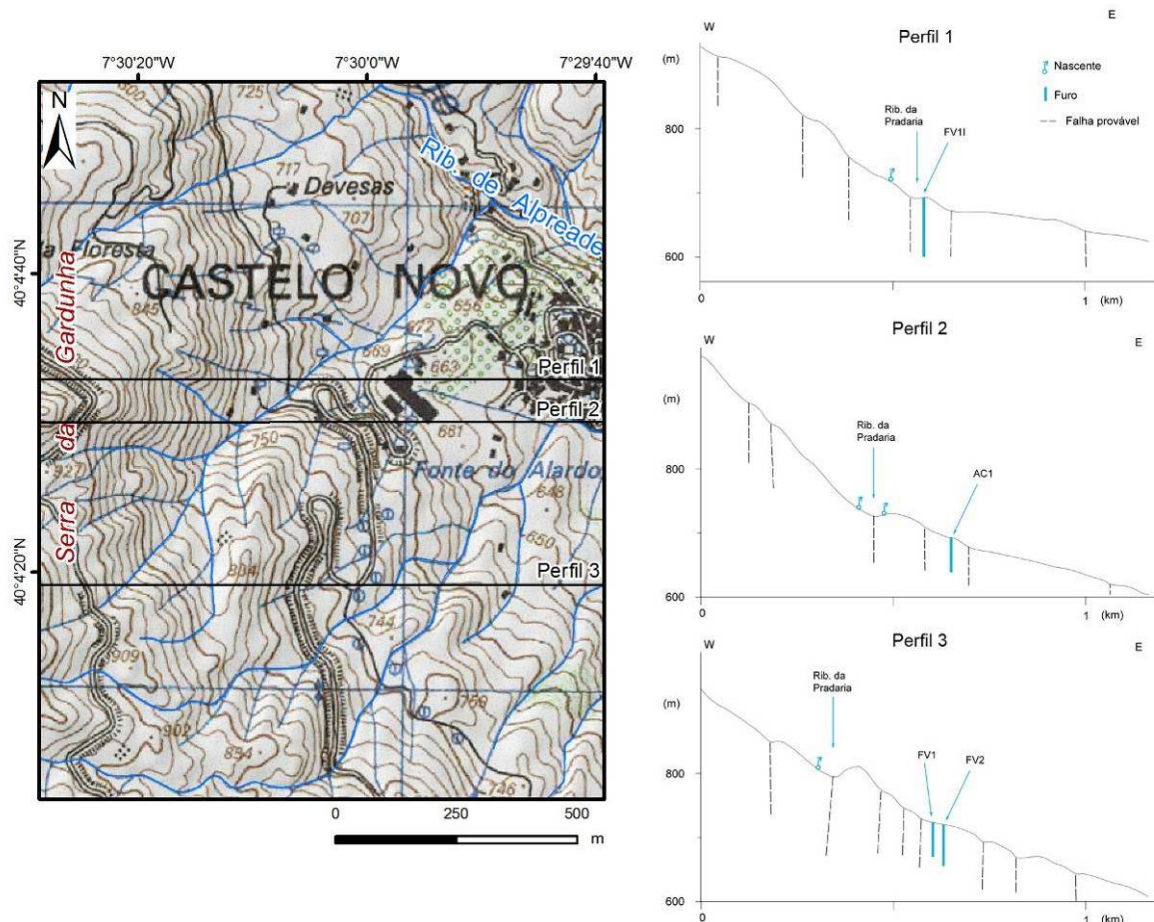


Figura 290 - Perfis topográficos sequenciais da área do Alardo.  
(sobre-elevação vertical: 3 vezes a escala horizontal).

### 5.6.3. Hidroclimatologia

#### 5.6.3.1. Análise climática e balanço hídrico

A área do Alardo enquadra-se, na divisão climática do país proposta por Ribeiro et al. (1987; 1988) na região continental e província da Beira Interior. Esta província inclui, nomeadamente, as estações meteorológicas do Fundão (INMG, 1991) e de Castelo Novo (INAG, 2009), correspondendo aos planaltos de parte da Beira Transmontana e da Beira Baixa, sendo caracterizada por um Inverno muito rigoroso e frio (ca. 1-2° C), com fortes quedas de neve ocasionais, e por um Verão quente a muito quente (> 32° C de temperatura média mensal do mês mais quente).

Os registos de precipitação utilizados para esta análise correspondem ao período 1992-2004 (quadro 61, figura 291), reportando-se à estação pluviométrica existente na área do Alardo, pertencente à Empresa das Águas do Alardo, cujos dados nos foram gentilmente

cedidos. A precipitação média anual na região é de 1242,6 mm, atingindo um valor máximo em Janeiro (231,8 mm) e um valor mínimo em Junho (6,2 mm).

Quadro 60 - Valores da precipitação média mensal relativos ao período 1992-2004 (Alardo).

Mês	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Jan	22,8	33,0	186,0	111,7	1029,3	366,0	118,3	152,7	34,1	479,0	259,3	178,3	42,5
Fev	26,0	40,2	152,0	13,7	90,6	0,0	184,5	0,0	5,1	208,8	51,4	188,3	83,9
Mar	17,0	36,6	0,0	10,7	138,2	0,0	92,2	159,3	130,0	430,8	213,8	105,7	54,9
Abr	47,8	58,8	53,5	81,8	96,2	21,5	2,0	45,0	312,0	19,0	120,9	171,0	34,9
Mai	48,2	95,0	335,0	77,8	291,3	0,0	256,3	76,5	45,0	114,8	11,4	0,0	24,2
Jun	5,4	4,2	0,0	31,1	0,0	22,0	15,5	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jul	7,6	0,0	0,0	17,8	0,0	23,7	0,0	15,4	21,5	0,0	0,0	3,2	0,0
Ago	15,4	0,0	4,5	0,0	0,0	36,6	0,0	53,1	0,0	0,0	0,0	15,0	58,9
Set	26,0	70,3	6,0	60,7	58,8	31,5	165,9	136,8	22,0	15,6	205,3	20,5	2,9
Out	69,0	165,4	135,0	119,5	100,8	283,4	31,1	333,9	123,9	343,4	119,6	404,2	252,2
Nov	19,0	71,0	238,0	242,4	95,8	527,1	28,1	0,0	220,0	38,3	171,0	194,7	22,8
Dez	70,0	5,0	120,6	174,4	642,2	288,0	86,0	89,8	671,2	0,0	416,6	141,5	37,4
<b>Total</b>	<b>374,2</b>	<b>579,5</b>	<b>1230,6</b>	<b>941,6</b>	<b>2543,2</b>	<b>1599,8</b>	<b>979,9</b>	<b>1062,5</b>	<b>1586,8</b>	<b>1649,7</b>	<b>1569,2</b>	<b>1422,2</b>	<b>614,3</b>

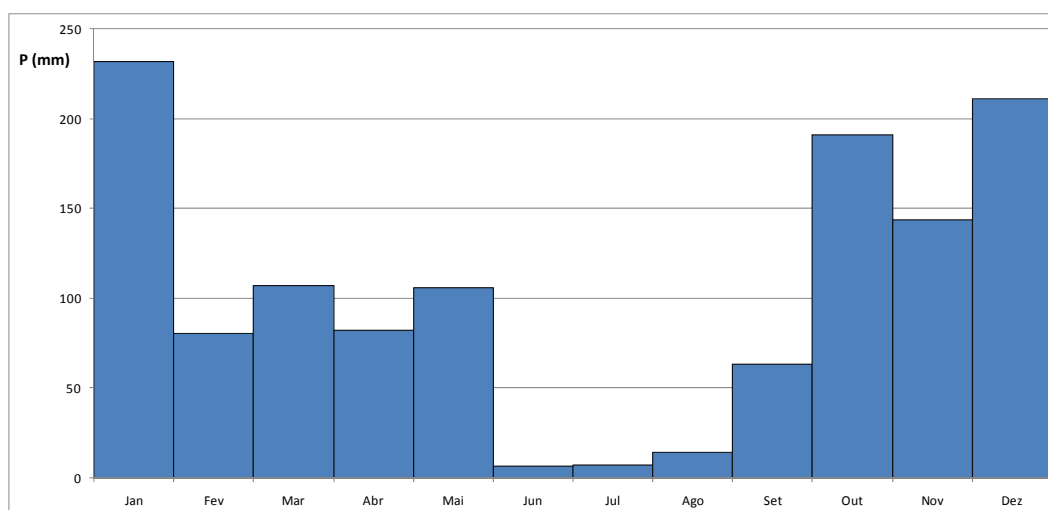


Figura 291 - Precipitação média mensal relativa ao período 1992-2004 (Alardo).

Relativamente à temperatura do ar, uma vez que a estação anteriormente referida, bem como a de Castelo Novo (INAG, 2009), não apresentavam registos, recorreu-se aos dados das normais climatológicas da estação do Fundão, para o período 1958-1980 (INMG, 1991). Esta estação apresenta os seguintes valores: a temperatura média anual do ar é de 13,9°C, com um valor mínimo no mês de Dezembro (7,0°C) e um valor máximo no mês de Julho (22,6°C). Verifica-se através do diagrama termopluviométrico (Figura 292), que o período seco na região corresponde aos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro.

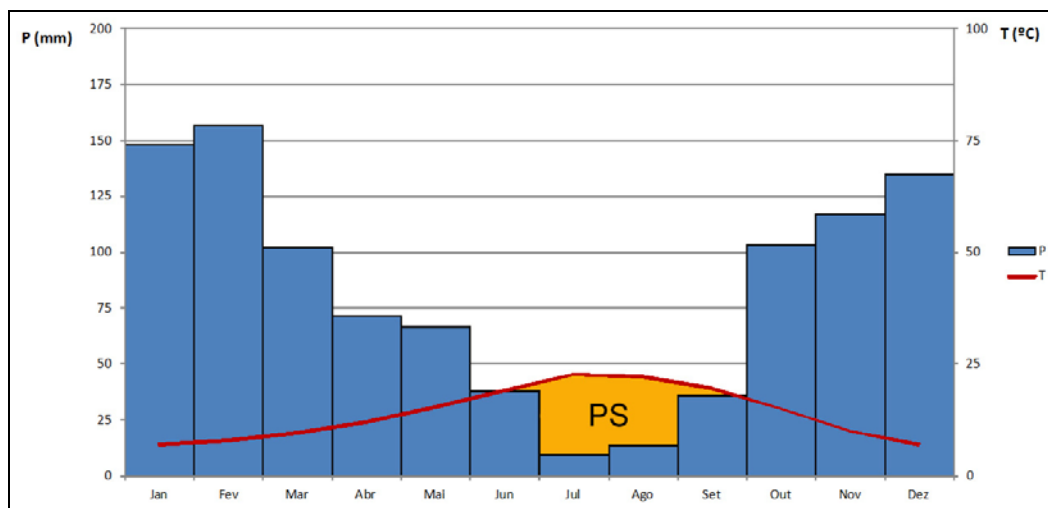


Figura 292 - Diagrama termopluiométrico para a região em estudo.

P – Precipitação (mm); T – Temperatura (°C); PS – Período Seco

Relativamente ao balanço hidrológico sequencial mensal realizado através do método de Thornthwaite & Mather, 1955, recorreu-se aos dados das normais climatológicas da estação do Fundão, para o período 1958-1980 (INMG, 1991). No quadro 61 e na Figura 293 apresenta-se este balanço hidrológico, para o qual se considerou uma capacidade utilizável de 150 mm. De acordo com este balanço, a evapotranspiração real (ETR) é de 529,6 mm, o valor do défice hídrico (DH) é de 277,8 mm e o valor dos excedentes hídricos (SH) é de 465,1 mm.

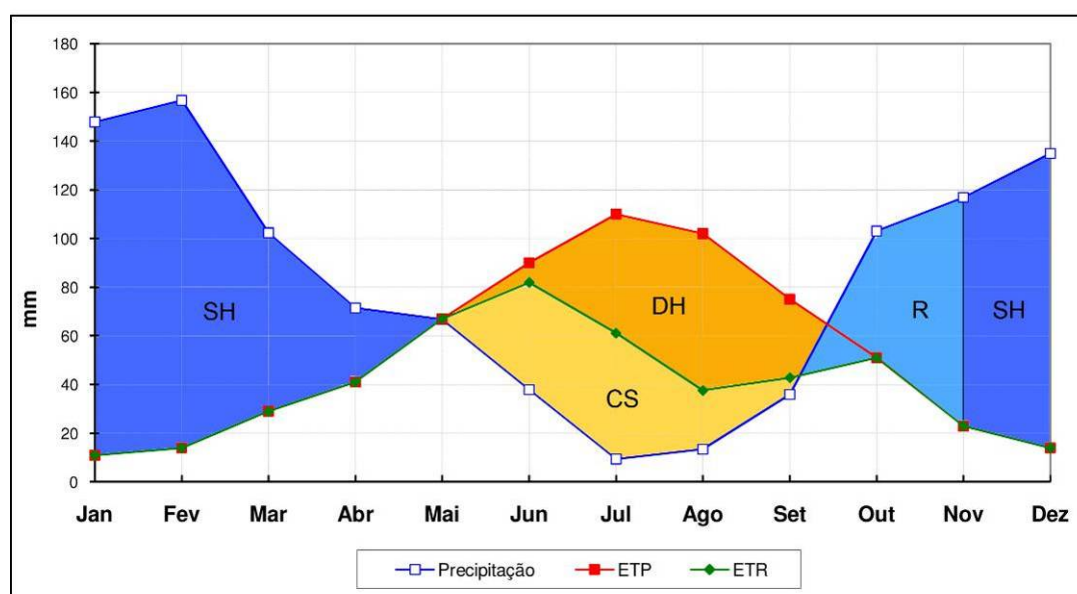


Figura 293 - Balanço hidrológico sequencial mensal relativo à estação climatológica do Fundão (SH – Excedentes hídricos; DH – Déficit hídrico; CS - cedência de água pelo solo; R – Reposição de água no solo).

Quadro 61 - Termos do balanço hidrológico sequencial mensal relativos à estação climatológica do Fundão (capacidade de água utilizável de 150mm).

Meses	T	P	ETP	P-ETP	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	°C	mm	Thornthwaite, 1948	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	7,1	147,9	11,0	136,9	150,0	0,0	11,0	0,0	136,9
Fev	7,9	156,7	14,0	142,7	150,0	0,0	14,0	0,0	142,7
Mar	9,6	102,3	29,0	73,3	150,0	0,0	29,0	0,0	73,3
Abr	12,0	71,4	41,0	30,4	150,0	0,0	41,0	0,0	30,4
Mai	15,4	66,7	67,0	-0,3	149,7	-0,3	67,0	0,0	0,0
Jun	19,2	38,0	90,0	-52,0	105,8	-43,9	81,9	8,1	0,0
Jul	22,6	9,4	110,0	-100,6	54,1	-51,7	61,1	48,9	0,0
Ago	22,3	13,5	102,0	-88,5	30,0	-24,1	37,6	64,4	0,0
Set	19,6	35,9	75,0	-39,1	23,1	-6,9	42,8	32,2	0,0
Out	14,8	103,1	51,0	52,1	75,2	52,1	51,0	0,0	0,0
Nov	9,8	116,9	23,0	93,9	150,0	74,8	23,0	0,0	19,1
Dez	7,0	134,9	14,0	120,9	150,0	0,0	14,0	0,0	120,9
<b>Total</b>		996,7	627,0	369,7	1338,0	0,0	473,4	153,6	523,3
<b>Média</b>	13,1	83,1	52,3	30,8	111,5		39,4	12,8	43,6

T - Temperatura; P - Precipitação; ETP - Evapotranspiração Potencial; ARM - Armazenamento, ALT - Alteração; DEF - Déficit; EXC - Excedentes

### 5.6.3.2. Recarga e escoamento

Uma vez que a região de Castelo Novo se localiza na bacia hidrográfica do rio Zêzere, considerou-se o escoamento médio anual ocorrente nesta bacia, o qual corresponde a 601 mm/ano, de acordo com INAG, 2009. Desta forma, tendo em conta este valor e os valores de precipitação (1242,6 mm) e de evapotranspiração real (529,6 mm) referidos, a recarga média anual será da ordem dos 112 mm e, por conseguinte, a taxa de infiltração será de cerca de 9%.

Este resultado, tal como se verificou nos outros pólos de estudo, é inferior aos propostos por outros autores para as formações cristalinas do Maciço Antigo Português, que apontam valores no intervalo de 15% a 20% da precipitação média anual (e.g.: Pereira, 1999; Alençao et al., 2000; Lima & Silva, 2000; Lima, 2001; Espinha Marques et al., 2010) e inclusive das recentes estimativas para outras áreas da Serra da Gardunha (15%, Mendes et al., 2010).

Pode assim afirmar-se que as quantidades de água disponíveis para a recarga são, contudo, apreciáveis. No entanto, nem sempre as condições hidrogeológicas, a sazonalidade das precipitações e a pequena capacidade de ingestão das formações geológicas ocorrentes permitem a disponibilidade plena destes valores.

## 5.6.4. Condições hidrogeológicas

### 5.6.4.1. O inventário hidrogeológico

O inventário hidrogeológico aqui apresentado retoma os dados dos trabalhos realizados por Resende (2005) e LABCARGA (2006), nos quais o signatário participou activamente, e que foi realizado ao longo da campanha de terreno ocorrida em Junho e Julho de 2005. Durante estes trabalhos foram medidos, sempre que possível, de uma forma sistemática parâmetros físico-químicos dos pontos de água inventariados com controlo *in situ* da temperatura (°C), do pH e da condutividade eléctrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Foram inventariados 26 pontos de água (figura 294) durante a campanha de campo.

O inventário incidiu sobretudo nos seguintes pontos de água ou estruturas, a saber: furos e poços, minas de água, nascentes e águas superficiais (ribeiras, linhas de água secundárias).

Para cada ponto de água foi criada uma ficha de inventário contendo, entre outras, as seguintes informações: número do ponto de água, localização, profundidade (m), litologia, grau de alteração, data e hora da recolha dos dados. Em 15 pontos de água (quadro 46) foi, ainda, possível a medição *in situ* da temperatura (°C), do pH e da condutividade eléctrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).

A nascente do Salgueiro (referenciada neste trabalho como nº 5), situada no limite Norte da ribeira da Pradaria era, à data do inventário, aproveitada pela Junta de Freguesia de Castelo Novo para o abastecimento público desta localidade.

Na vertente Sul da Serra da Gardunha, entre as cotas aproximadas de 650 m e 900 m, situa-se a concessão Hidromineral do Alardo (HM51). Esta cadeia montanhosa atinge a cota máxima de 1219 m no v.g. da Gardunha, cerca de 2 km a Oeste da nascente Alardo.

Quadro 62 - Quadro resumo de 15 dos 26 pontos de água inventariados durante a campanha de campo (cf. anexo 8).

Nº	Designação	Descrição		Unidade Hidrogeológica	Água aflui através de:				Caudal estimado (l/s)	Temperatura		pH	Condutividade Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
		Ponto de descarga simples	Nascente permanente		Rocha	Solo	Descontinuidade	Outra		água (°C)	ar (°C)		
5	Nascente do Salgueiro	*	*	UHA	*		*		-	15.0	30	7.2	10
7	Caixa colectora			UHA				*	-	16.0	30	6.9	10
8	Tanque - 1			UHC				*	-	17.0	30	7.0	10
9	Nascente de água - 1	*		UHA	*				-	14.5	30	6.1	20
10	Tanque da Casa do Guarda	*		UHA				*	0.1	17.0	26	6.9	20
11	Fonte da Casa do Guarda	*		UHA				*	-	13.0	25	6.2	20
13	Linha de água - 2	*		UHA	*				-	16.5	27	6.1	20
16	Linha de água - 3	*		UHA	*				-	17.5	27	6.2	25
17	Nascente com um tanque	*		UHA	*	*			0.2	14.0	25	5.6	10
18	Galeria de Mina	*	*	UHA	*				-	20.0	25	5.9	20
19	Poço	*		UHA	*			*	< 0.1	15.5	25	5.9	30
20	Nascente do Alardo (Clássica)			UHB	*		*		< 0.1	14.0	25	5.7	10
23	Nascente de água - 2	*	*	UHA	*		*		0.5	14.0	27	6.6	10
26	Nascente - saída de galeria	*	*	UHA	*				1	14.0	25	6.1	10
27	Tanque - água duma nascente	*		UHA				*	< 0.2	16.0	25	6.1	20

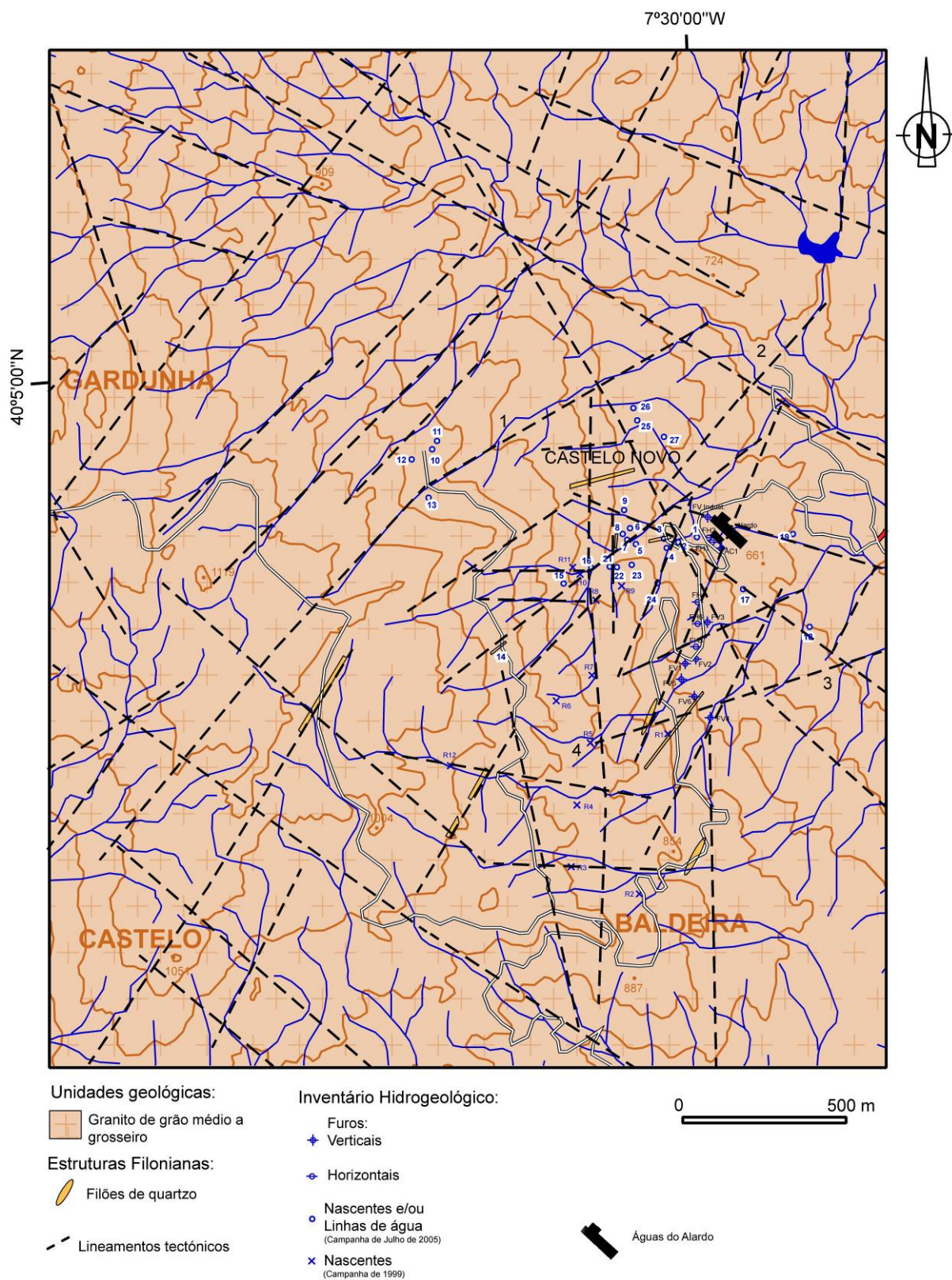


Figura 294 - Inventário hidrogeológico realizado em 2005 (cf. quadro 62 e 07).

---

A água tem origem num sistema aquífero instalado em terrenos de natureza granítica nas encostas da Serra da Gardunha, próximo da povoação de Castelo Novo. Nesta encosta, situa-se a bacia superior da Ribeira de Alpreade, na qual se implanta a concessão HM51 Alardo. São abundantes as nascentes de água, em geral de débito muito fraco e temporárias, com quimismo sobreponível ao das captações Alardo. O enquadramento geológico comum destas ocorrências é a associação de rocha granítica a filões de quartzo, na proximidade de manchas significativamente decompostas ( $W_{4-5}$ ). Há escassas nascentes de carácter permanente, algumas das quais já se encontram desenvolvidas por captações (e.g., nascente do Alardo). Estas nascentes ocorrem num aquífero descontínuo cuja água foi reconhecida como recurso hidromineral (Carvalho, 2006).

A existência de nascentes sugere a existência de um sistema aquífero amplo, embora descontínuo, possibilitando a obtenção de caudais económicos e sustentados. O recurso hidromineral é actualmente captado em quatro captações horizontais e verticais designadas por FH1, FH2 e FH3 e FV7 (figura 295 e figura 296). O esquema construtivo típico das captações horizontais é apresentado na figura 297, e os esquemas construtivos das captações verticais principais apresentam-se na figura figura 298 (ver esquema das captações secundárias no anexo 9).

O escoamento médio nas captações horizontais existentes (FH1, FH2, FH3 e FV7, cada uma com 100 m de comprimento) e, ainda, da captação FH6, usada na produção de água de nascente, é de cerca de  $7 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Desta forma, considerando o escoamento médio referido, a precipitação média (1242,6 mm), a evapotranspiração real (529,6 mm), bem como a recarga para as captações numa área de 400 por 700 m, ter-se-ia uma taxa de recarga de 18%, correspondente a uma recarga da ordem de 219 mm, irregularmente distribuída ao longo do ano hidrológico. Se fosse considerada a recarga até à culminação máxima situada a 1000 m seriam obtidos escoamentos mais altos (até  $17,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) que não correspondem a um cenário credível. Este valor da taxa de infiltração é superior ao referido anteriormente. Note-se, no entanto, que Carvalho et al., 2000; Carvalho et al., 2003), referindo-se a estudos realizados a propósito dos planos de bacia hidrográfica dos rios Lima, Cávado, Ave, Leça e Douro, propõem valores médios de recarga de 14 a 17% para as formações cristalinas do Norte de Portugal, sugerindo, contudo a consideração de uma taxa generalizada de 10%.

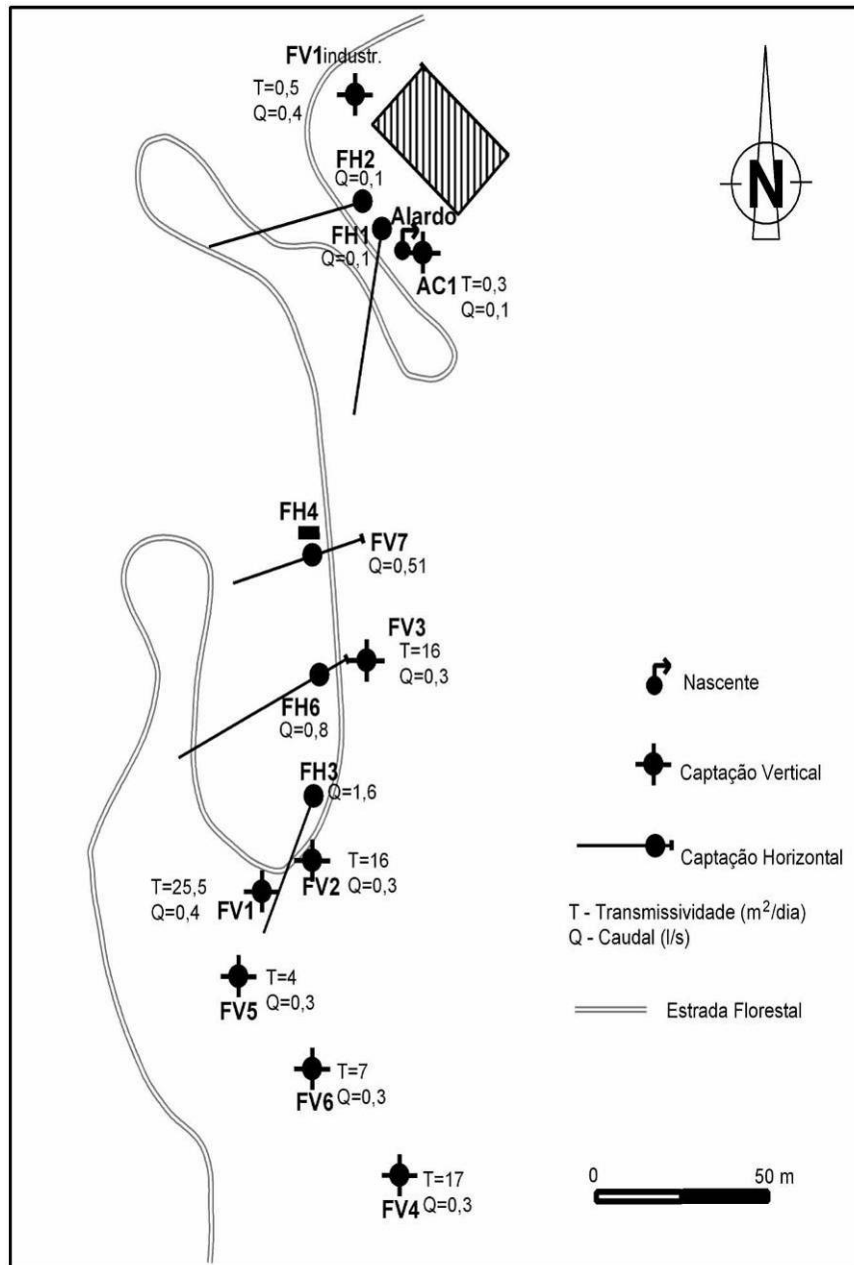


Figura 295 - Estado actual dos furos de captação do Alardo (adaptado do arquivo Águas do Alardo, Lda. e de Carvalho, 2005; Carvalho, 2006).

O aquífero hidromineral do Alardo estará instalado, quase exclusivamente, na zona de alteração dos granitos, e os níveis freáticos encontram-se muito próximos da superfície. Algumas das captações e sondagens são repuxantes nos períodos de Inverno e de Primavera, sendo o nível potenciométrico superior à cota do terreno nestas alturas. Esta circunstância reflecte quer condições de confinamento do sistema quer a presença de gradientes muito elevados, acompanhando a topografia. É normal em aquíferos descontínuos graníticos a ocorrência de condições de confinamento devido ao desenvolvimento em profundidade da rede de fracturas e outras discontinuidades.



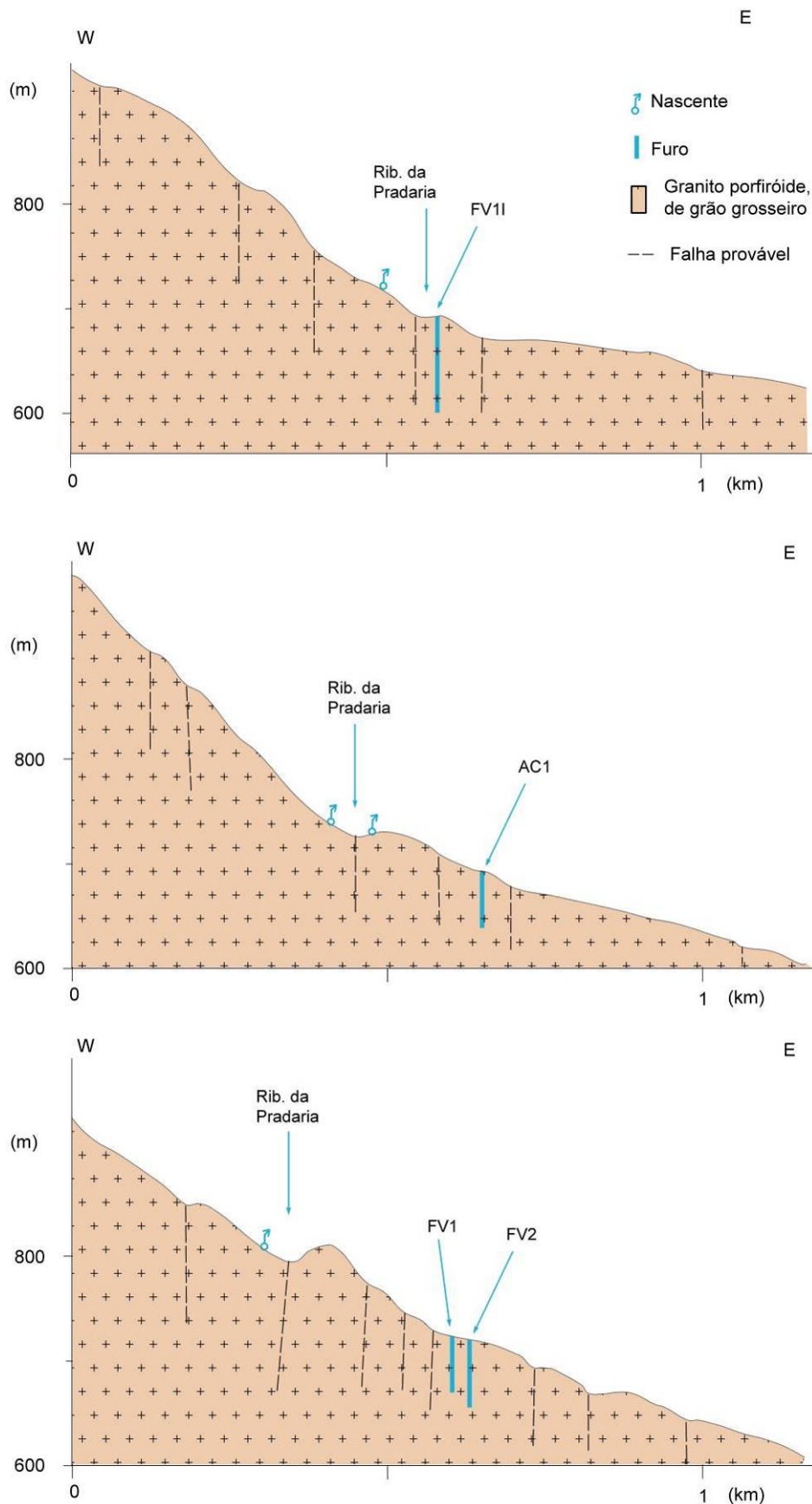


Figura 296 - Perfis geológicos sequenciais da área do Alardo (cf. localização dos perfis na figura 275).  
*(sobre-elevação vertical: 3 vezes a escala horizontal).*

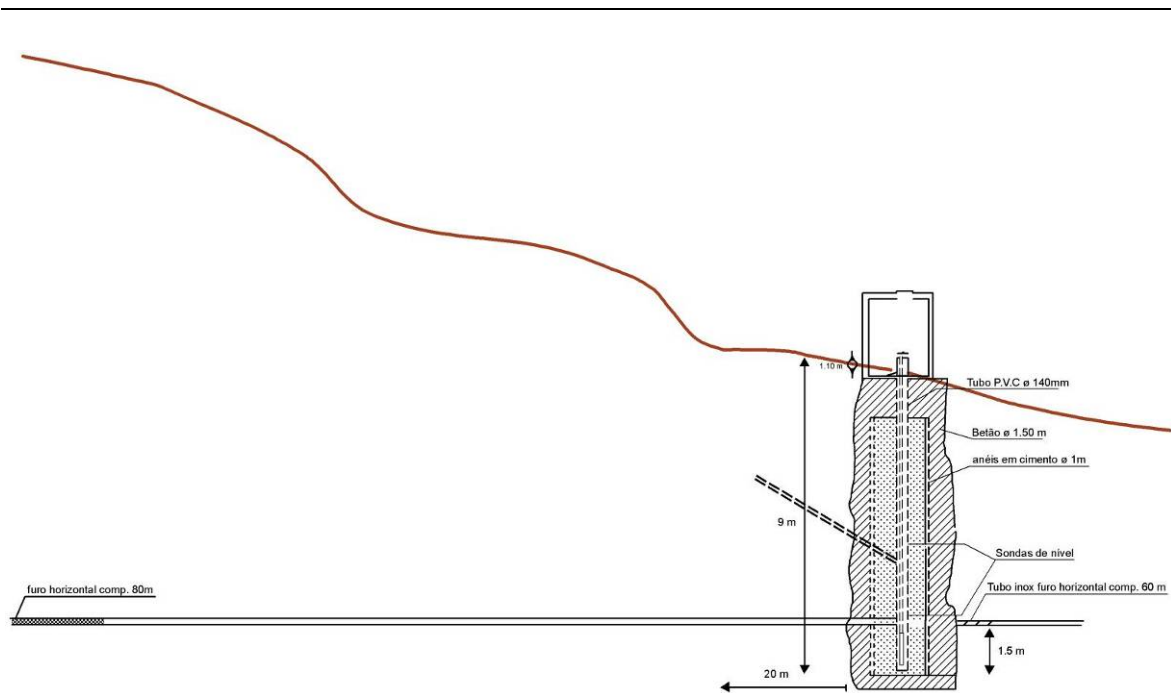


Figura 297 – Esquema construtivo típico das captações horizontais na área do Alardo (adaptado de Fundáguas, 1994).

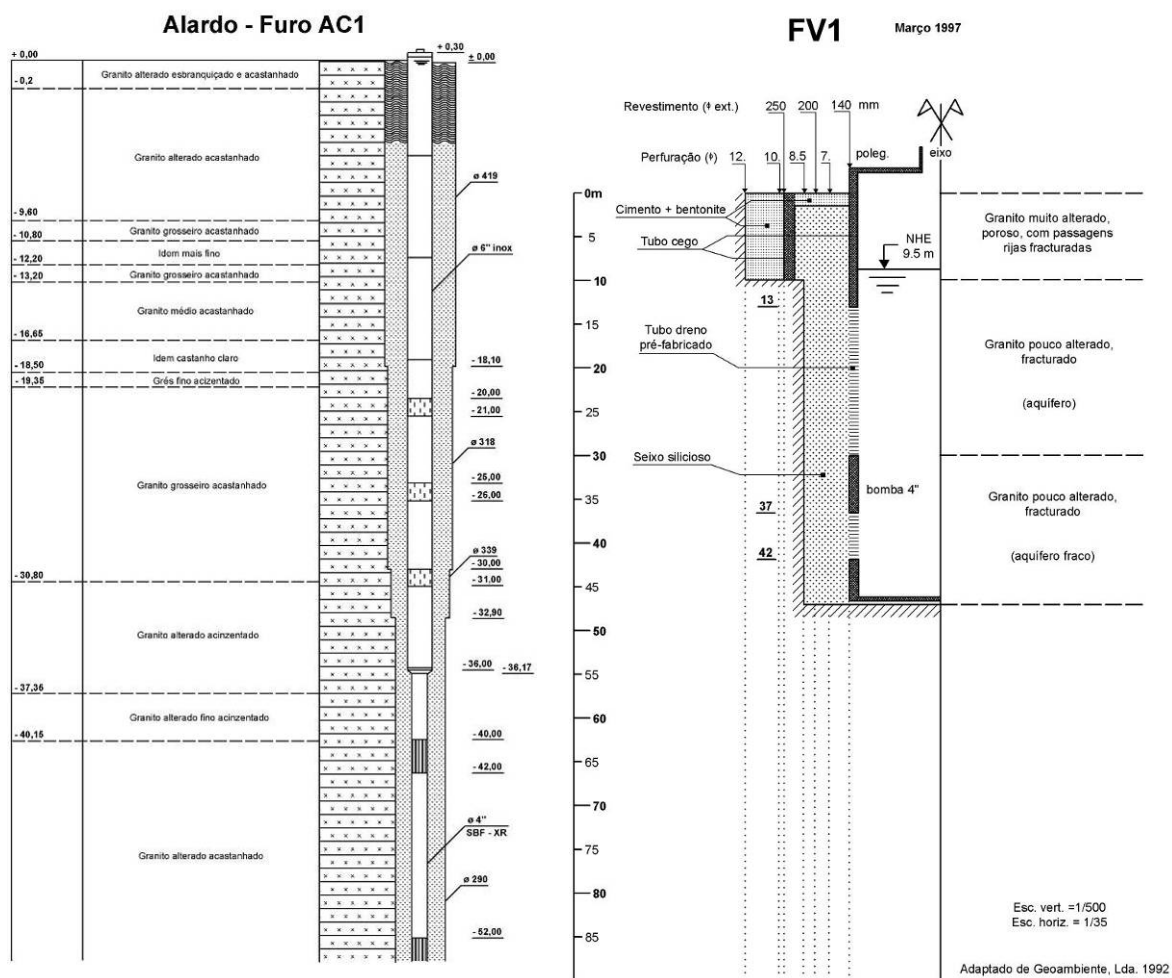


Figura 298 – Esquema construtivo dos furos AC1 e FV1.

A conectividade hidráulica do aquífero hidromineral do Alardo não é absoluta, uma vez que duas sondagens (FV2 e eventualmente a FD3/PJ4) parecem apresentar níveis claramente inferiores ao correspondente à da circulação principal. A circulação hidromineral típica correspondente a escoamentos do tipo da nascente Alardo apresenta níveis próximos da superfície.

Para Carvalho (2005), o aquífero hidromineral do Alardo corresponderia um conjunto de subsistemas descontínuos, semi-confinado, com os parâmetros hidrodinâmicos seguintes: transmissividade de 5 m<sup>2</sup>/dia, espessura de 30 m, condutividade hidráulica equivalente (k) de 0,2 m/dia.

Em termos espaciais, verificou-se uma elevada concentração de nascentes na área imediatamente a Oeste da nascente clássica das Águas do Alardo (figura 299). Esta corresponderá a uma área onde se verificam intersecções de lineamentos tectónicos, nomeadamente os de direcção NE-SW, NE-SW e N-S. De referir ainda que é nesta área que se situam as captações horizontais e verticais das águas do Alardo.

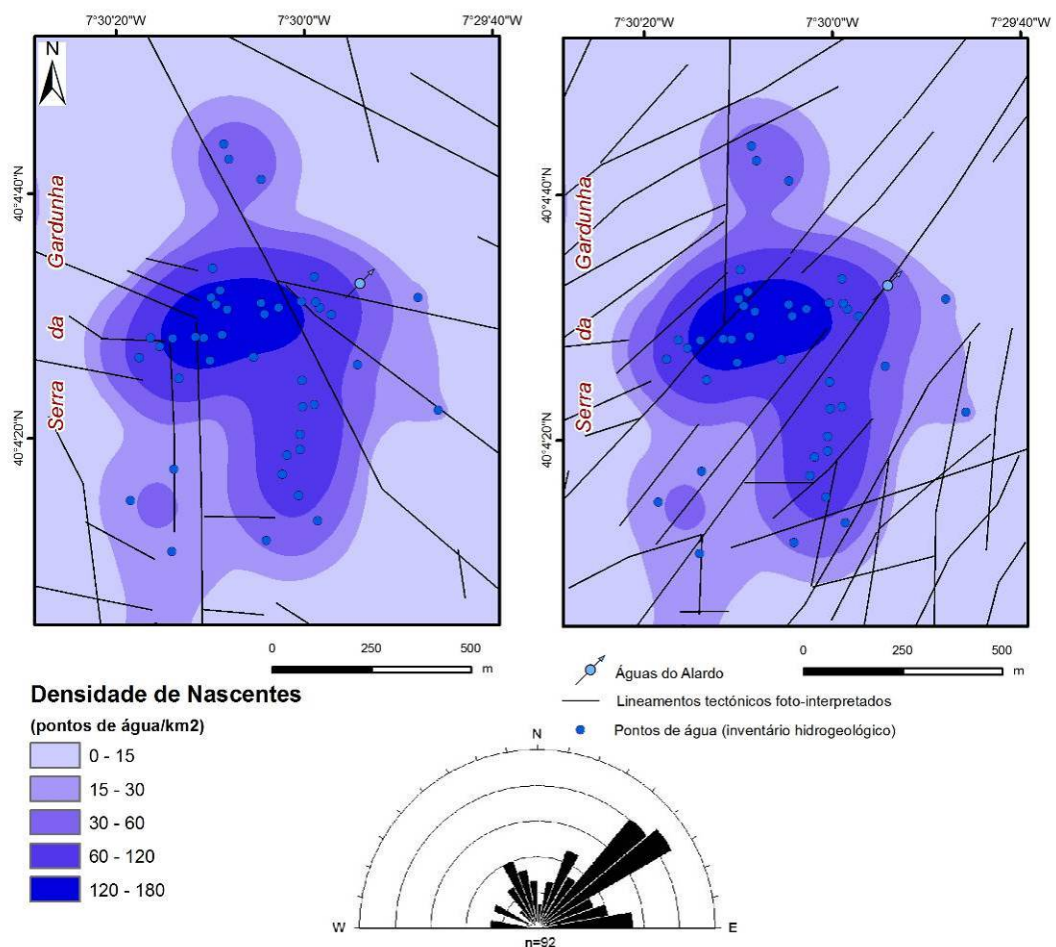


Figura 299 - Lineamentos tectónicos do quadrante NW (a) e do quadrante NE (b), e densidade de pontos de água (inventário hidrogeológico) da área do Alardo.

À semelhança dos anteriores sectores já apresentados, na área envolvente à nascente clássica do Alardo, foi realizada também uma espacialização dos dados relativos aos parâmetros hidrogeológicos medidos no campo (pH, condutividade eléctrica e temperatura), em ambiente SIG, recorrendo ao método de interpolação IDW (*“Inverse Distance Weight”*), em que os pontos mais próximos assumem maior importância na estimativa do valor final, cujos resultados se apresentam na figura 300. A espacialização dos dados revela um contraste espacial interessante, no que diz respeito à distribuição espacial dos valores de pH. Assim, os valores apresentam uma tendência de descida geral em direcção a Sul, tendo sido registada uma concentração mais elevada na área a Oeste da nascente clássica do Alardo. Os valores de condutividade eléctrica, sempre muito baixos, apresentam uma variação espacial pouco nítida, mas com tendência aparente de aumento em direcção a Sul. Todavia, esta abordagem terá de ser encarada como meramente indicativa das tendências locais dos parâmetros hidrogeológicos medidos no campo e não deverá ser realizado qualquer tipo de extrapolação regional. As temperaturas aparentam também valores baixos, aparentando uma diminuição em direcção ao Oeste. Os valores registados num ponto na área Este do mapa corresponderão a uma anomalia, registada num ponto com água estagnada, sob sol intenso, num dia de temperaturas elevadas, e não a uma emergência natural, a essa temperatura.

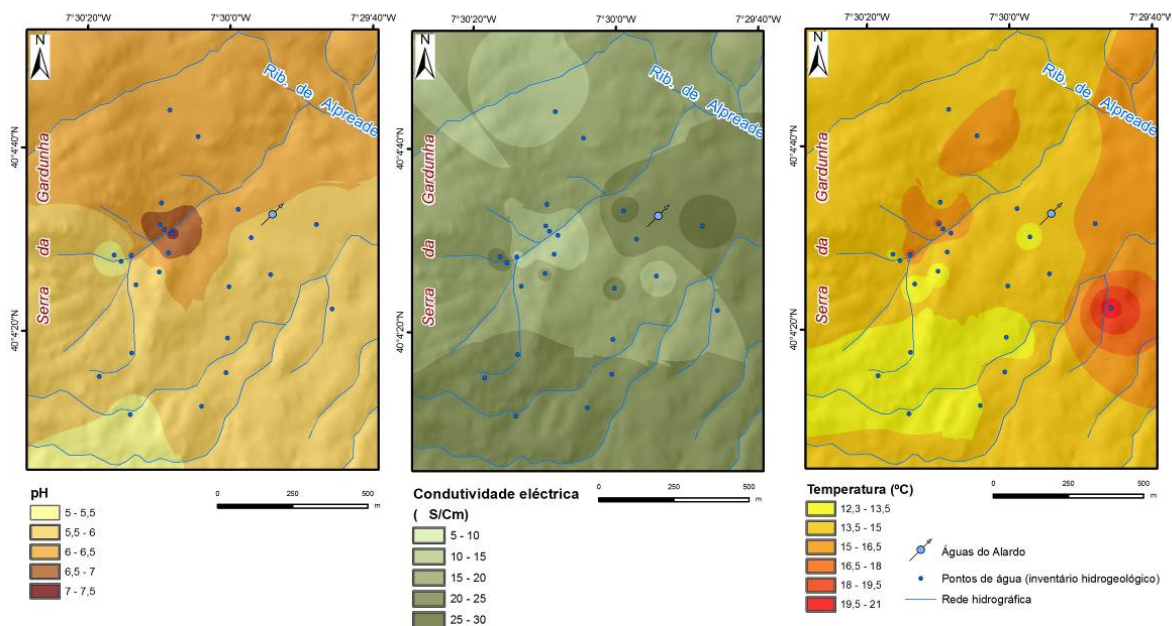


Figura 300 – Espacialização do pH, condutividade eléctrica e temperatura na área do Alardo.

### 5.6.4.2. Hidroquímica

Para a caracterização hidroquímica das águas da região do Alardo, compilaram-se diversas análises físico-químicas, quer nos arquivos das Águas do Alardo, quer nos trabalhos de referência, já referidos, num total de 67 análises, das quais se dará conta aqui dos valores médios, representados nos diagramas de de Piper e de Stiff (figura 301 e figura 302).

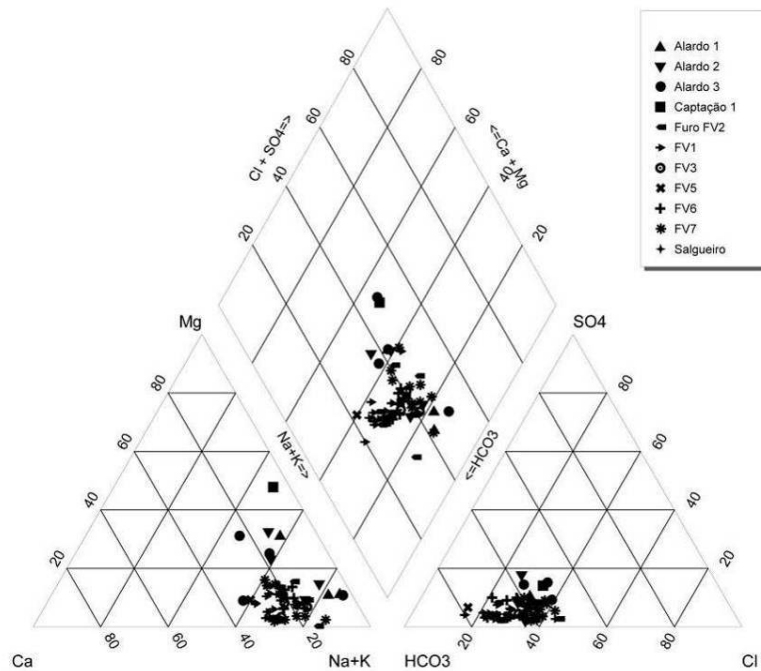


Figura 301 - Diagrama de Piper relativo aos pontos de amostragem de água na área do Alardo.

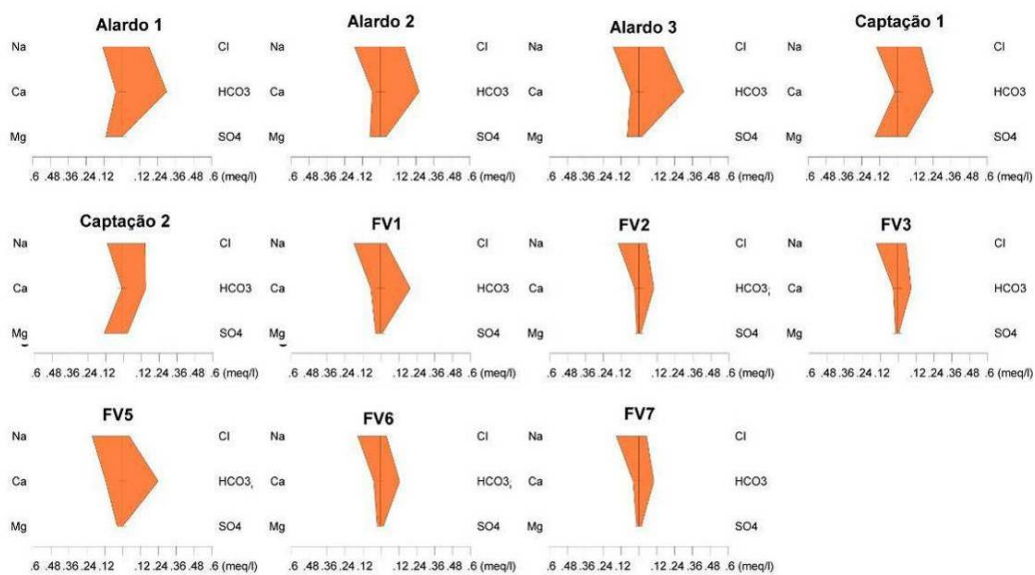


Figura 302 - Diagramas de Stiff representativo (valores médios) das captações de água na área do Alardo.

---

A água da nascente Alardo (tal como a das restantes captações e das nascentes da área) apresenta mineralizações muito baixas. Todas as amostras podem ser caracterizadas por terem fácies bicarbonatada sódica e, em certos casos, bicarbonatada sódica-magnésiana, apresentando, em geral, teores em sílica relativamente elevados, tendo em conta a mineralização total.

#### **5.6.4.3. Unidades hidrogeológicas**

Nesta secção procuraremos sistematizar as condições hidrogeológicas da área do Alardo de forma a perspectivar, mais tarde, as condições de reservatório, disponibilidade de recursos e acções posteriores de prospecção, pesquisa e eventual captação.

O esboço hidrogeológico (figura 303) sintetiza as condições ocorrentes na região de Castelo Novo. A definição das unidades hidrogeológicas locais conduziram à seguinte sistematização:

- ✓ *Unidade hidrogeológica A (UHA):* granito de grão médio a grosseiro, de duas micas, são a pouco alterado ( $W_{1-2}$ );
- ✓ *Unidade hidrogeológica B (UHB):* granito de grão médio a grosseiro, de duas micas, medianamente alterado a muito alterado ( $W_3$  a  $W_{4-5}$ );
- ✓ *Unidade hidrogeológica C (UHC):* estruturas filonianas (em regra, filões de quartzo) e lineamentos tectónicos.

A unidade UHA apresenta uma maior representatividade cartográfica, correspondendo a um maciço granítico fracturado, caracterizada por permeabilidade do tipo fissural, constituindo aquíferos descontínuos.

A unidade UHB apresenta uma baixa densidade de fracturação, frequentemente interrompida por material-rocha com características porosas. Esta unidade individualiza-se em áreas morfologicamente aplanadas, cuja permeabilidade é do tipo intersticial, com circulação contínua a pequena profundidade. Nestas áreas regista-se, geralmente, um horizonte de alteração algo intenso ( $> 30$  m), podendo considerar-se em muitos pontos um saibro granítico grosseiro. Contudo, observam-se pontualmente zonas do maciço com grau de alteração alterado a muito alterado a decomposto ( $W_{4-5}$ ). Esta última situação ocorre especialmente próxima a contactos tectónicos de natureza frágil (falhas). Neste caso, cartografaram-se manchas com um grau de alteração apreciável e na proximidade de estruturas tectónicas. Estas estruturas favorecerão a consequente arenização profunda dos granitóides contíguos a estas falhas e a circulação de geofluidos. Esta situação é observável nos taludes dos estradões e caminhos de pé-posto, nas

imediações das instalações da oficina de engarrafamento do Alardo. Estas manchas de alteritos, de natureza argilo-arenosa, relativamente aplanadas constituem bons solos agrícolas, nas quais as populações locais cultivavam ou as utilizavam como prados (e.g., a ribeira da Pradaria).

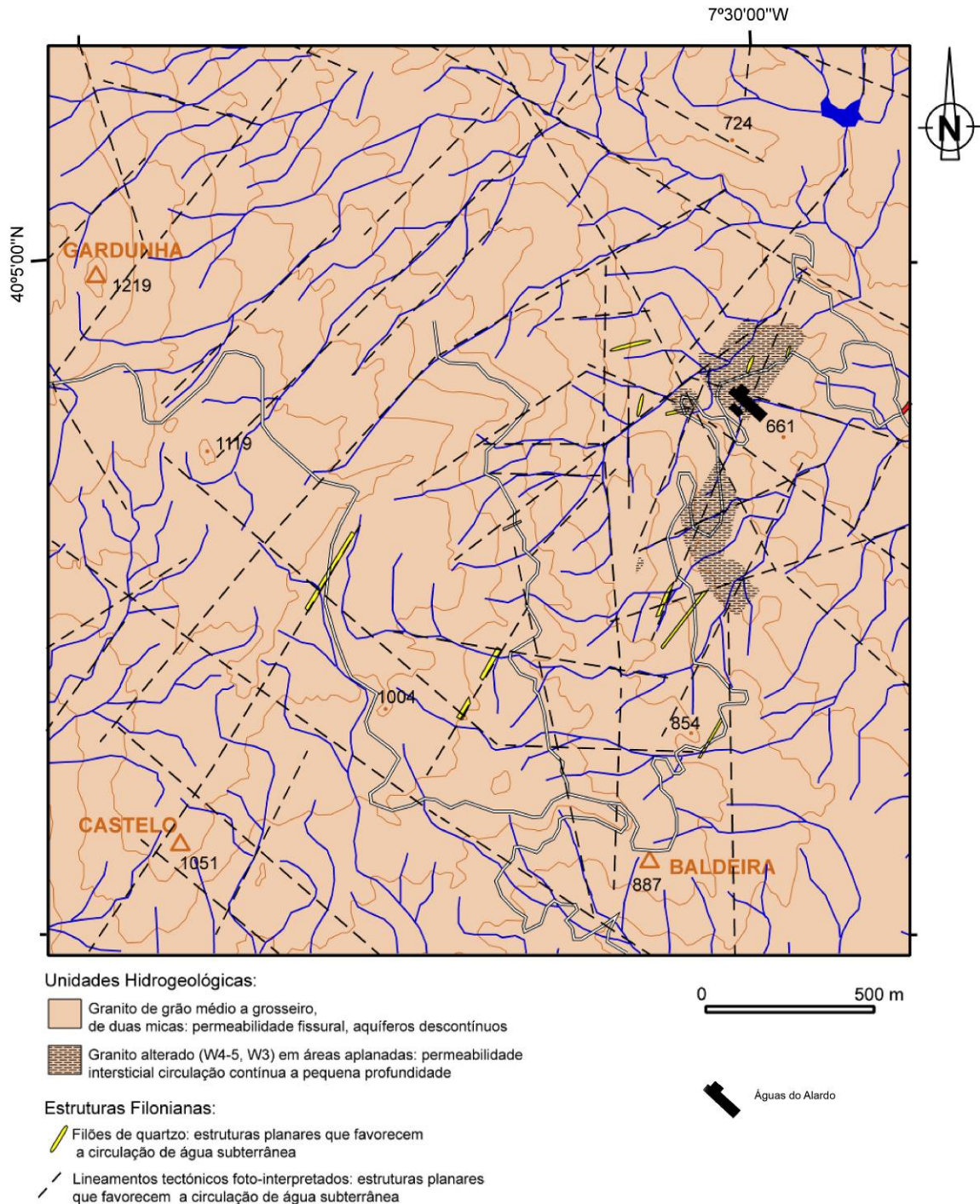


Figura 303 – Unidades hidrogeológicas da área envolvente do Alardo.

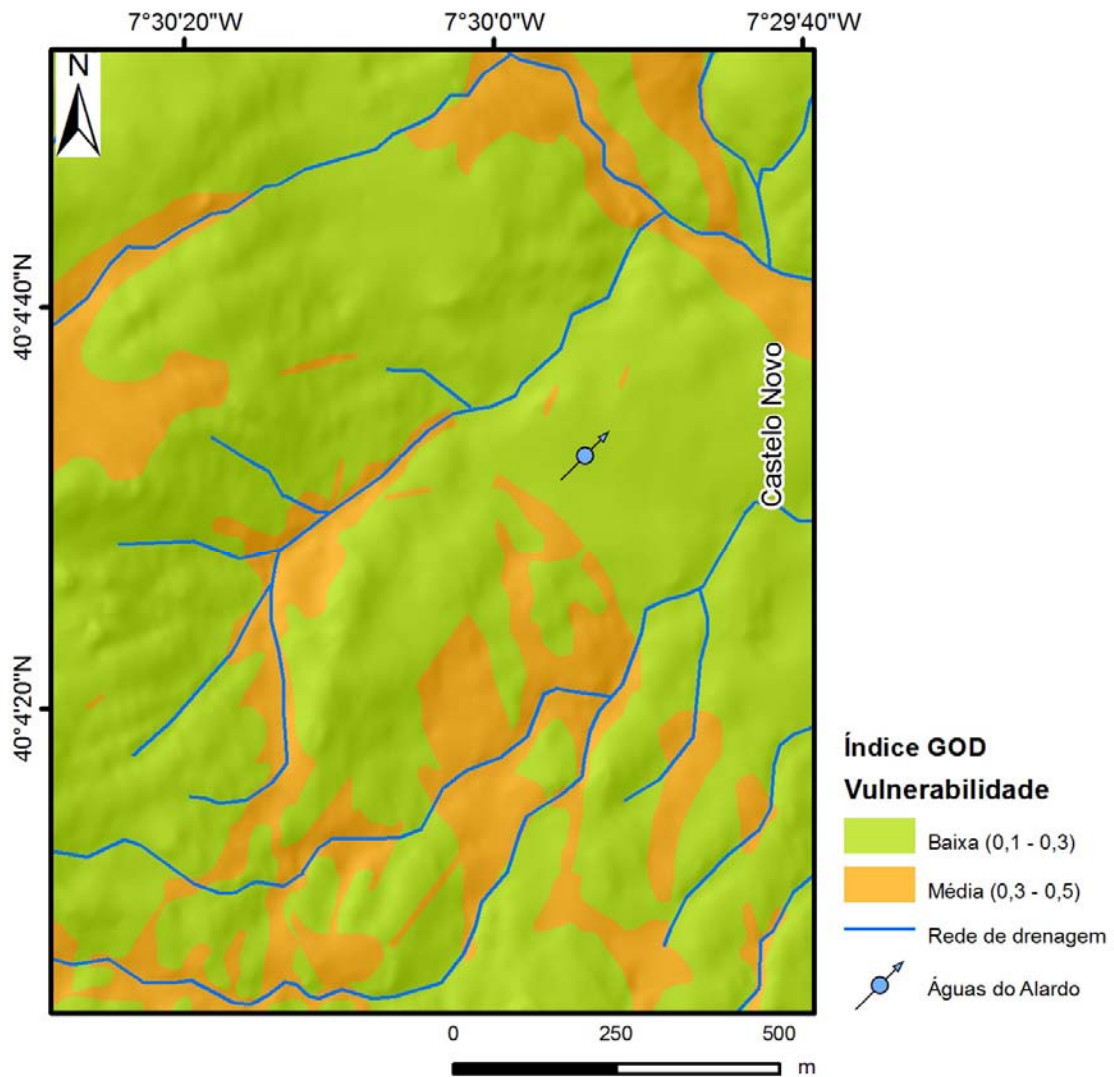
A unidade UHC é constituída fundamentalmente por estruturas filonianas quartzosas, com orientação média N-S e NE-SW, favorecendo estas a circulação de água subterrânea. A rede de fracturação regional (lineamentos tectónicos), na qual se destacam as famílias de fracturação com orientação N-S a NE-SW, NNW-SSE a NW-SE e E-W, conduzem à delineação de nós tectónicos favoráveis à circulação da água subterrânea.

No quadro 63 apresentam-se as características principais das unidades hidrogeológicas locais consideradas para a área do Alardo, bem como a avaliação da vulnerabilidade à contaminação pelo método GOD (figura 304).

Quadro 63 - Unidades hidrogeológicas locais da área do Alardo.

<b>Unidade Hidrogeológica</b>	<b>UHA</b>	<b>UHB</b>	<b>UHC</b>
<b>Litologia / grau de alteração</b>	Granito porfíroide de grão grosseiro / W <sub>1-2</sub>	Granito alterado e/ou saibro granítico/ W <sub>3</sub> a W <sub>4-5</sub>	Estruturas filonianas
<b>Tipo de permeabilidade</b>	Fissural	Fissural / Intersticial	Fissural
<b>Tipo de água</b>	Bicarbonatada sódica, hipossalina	Bicarbonatada sódica, hipossalina	Bicarbonatada sódica, hipossalina
<b>Vulnerabilidade à contaminação</b>	Baixa	Média	Média





	<i>Granito de grão grosseiro, são a pouco alterado</i>	<i>Granito de grão grosseiro, medianamente alterado</i>	<i>Granito de grão grosseiro, muito alterado a decomposto</i>	<i>Filões de quartzo</i>
<b>G</b>	confinado / semi-confinado	confinado / semi-confinado	confinado / semi-confinado	confinado / semi-confinado
<b>O</b>	formações magmáticas	formações magmáticas	formações magmáticas	formações magmáticas
<b>D</b>	5-20 m	5-20 m	5-20 m	<5 m

Figura 304 - Índice de vulnerabilidade GOD, para as unidades hidrogeológicas da área do Alardo.

### 5.6.5. Cartografia hidrogeomorfológica: esboço do potencial de infiltração

À semelhança dos sectores anteriores, a elaboração da cartografia hidrogeomorfológica, nomeadamente, do índice do potencial de infiltração, esteve assente na base SIG criada, e seguindo a abordagem metodológica apresentada no ponto 5.2. Seguidamente, apresentam-se os mapas temáticos produzidos, bem como os factores de ponderação e pesos específicos atribuídos a cada parâmetro, na área do Alardo.

Na abordagem metodológica aqui apresentada não foram alterados os valores máximos atribuídos a cada parâmetro, tendo sido igualmente atribuído maior peso à *litologia*, considerando também o seu *grau de alteração* (20%) e a *densidade de lineamentos tectónicos* (20%) conforme descrito no capítulo 2. Com base nos critérios descritos e no dados de terreno recolhidos, foram atribuídos pesos, conforme se indica no quadro 64, à litologia e grau de alteração do maciço, bem como à densidade de lineamentos tectónicos, dos quais resultaram nos mapas das figura 305 e figura 306.

Quadro 64 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores litologia / grau de alteração e densidade de lineamentos tectónicos.

Litologia / Grau de alteração	Peso específico	Densidade de lineamentos tectónicos	Peso específico
Granito de grão grosseiro, são a ligeiramente alterado (W1-2)	7	Alta (> 12/km <sup>2</sup> )	20
Granito de grão grosseiro, medianamente alterado (W3)	15	Média (8-12/km <sup>2</sup> )	15
Granito de grão grosseiro, muito alterado alterado (W4-5)	20	Baixa (4-8/km <sup>2</sup> )	10
Filões de quartzo	15	Muito baixa (< 4/km <sup>2</sup> )	5

Na área da Serra da Gardunha, próximo à povoação de Castelo Novo (figura 305), o maciço granítico estudado está, superficialmente, medianamente alterado (W<sub>3</sub>) a pouco alterado (W<sub>1-2</sub>), à excepção de algumas faixas graníticas que poderão ser consideradas como muito alteradas e decompostas, a arenizadas (do tipo saibro-argiloso, W<sub>4-5</sub>). Verificou-se ainda que as zonas nas quais o granito se encontra com um grau de alteração mais intenso, isto é, medianamente alterado (W<sub>3</sub>) a decomposto e/ou arenizado (W<sub>4-5</sub>), correspondem a zonas morfologicamente aplanadas cujo material-rocha é um saibro granítico argilo-arenoso. As discontinuidades à superfície, quando visíveis, são fechadas, parcialmente colmatadas e afastadas (F<sub>1-2</sub>). A resistência do material-rocha granítico, recorrendo ao martelo de Schmidt (ou esclerómetro portátil), foi estimada em 30 MPa, o que confere ao maciço, segundo ISRM (1978b, 1981), uma resistência média (S3).

De referir ainda que alguns dos limites entre blocos de rocha com diferentes graus de alteração correspondem a lineamentos tectónicos, parecendo haver um maior controlo pelos lineamentos de direcção aproximada NE-SW.

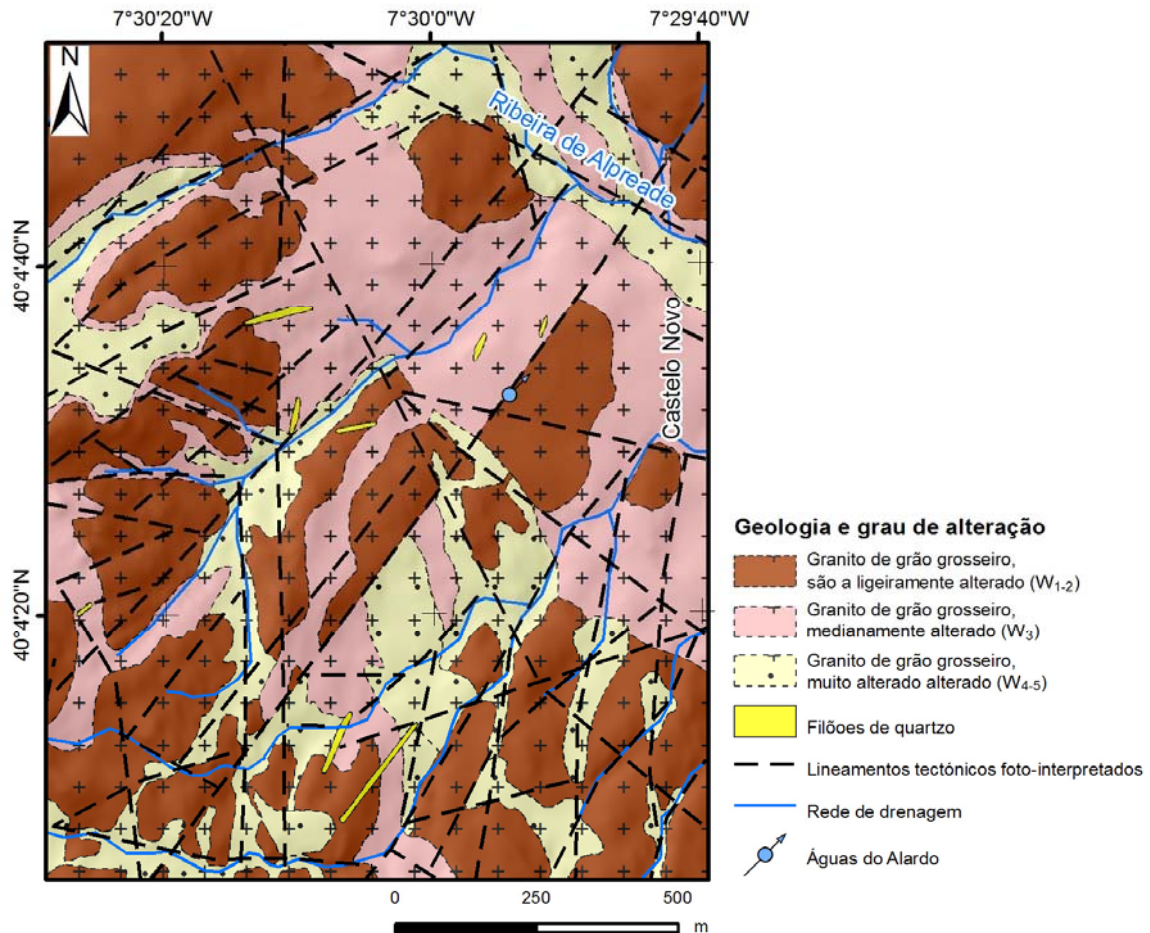


Figura 305 – Mapa da litologia e grau de alteração da área do Alardo.

Relativamente à densidade de lineamentos tectónicos, esta aparenta, apesar da maior dispersão natural, estar relacionada com áreas de intersecção de várias direcções de lineamentos tectónicos, nomeadamente das direcções N-S, NE-SW e NW-SE (Figura 306). As áreas de maior densidade concentram-se na área a Sul e a Oeste da nascente clássica das Águas do Alardo.

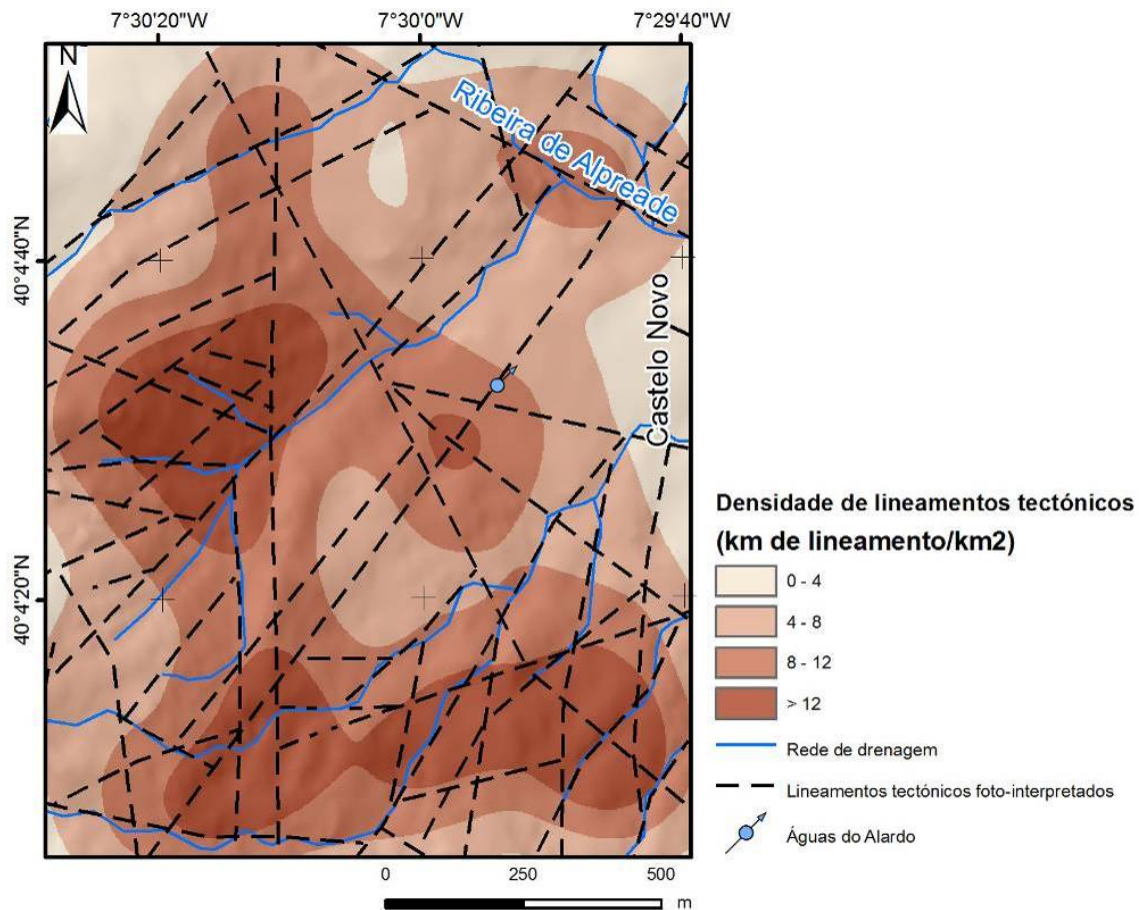


Figura 306 - Mapa da densidade de lineamentos tectónicos da área do Alardo.

A *ocupação do solo* é também um importante factor no potencial de infiltração de uma determinada área tal como foi visto nos pontos anteriores. Assim, atribuiu-se um peso máximo de 15% às áreas florestais, peso este que varia gradualmente, até se atingirem valores nulos em áreas impermeabilizadas (quadro 65). O mapa resultante é apresentado na figura 307. Na área apresentada, dominada morfológicamente pelas vertentes da Serra da Gardunha, predominam claramente as áreas de afloramentos rochosos, em alternância com áreas de vegetação arbustiva. Mais próximo do fundo do vale surgem áreas agrícolas, de pequena extensão, bem como pequenas manchas florestais.

Relativamente à *densidade da rede de drenagem*, tal como nos casos anteriores, assumiu-se que o escoamento superficial será uma função inversa da circulação subterrânea (i.e., quanto maior for a quantidade de água que se escoe superficialmente, menor será a quantidade disponível para infiltração e recarga dos aquíferos), sendo assim atribuído um peso superior às áreas com menor densidade de drenagem (quadro 63, figura 308). As áreas de maior densidade situam-se preferencialmente em dois locais, que correspondem à junção de vários pequenos cursos de água que formam a Ribeira da Pradaria, bem como na área mais a Norte, onde esta se junta com a Ribeira de Alpreade.

Quadro 65 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores ocupação do solo e densidade da rede de drenagem.

Ocupação do solo	Peso específico
Áreas urbanizadas/Zonas industriais / estradas	2
Afloramentos rochosos	5
Floresta: Pinheiro Bravo, Eucalipto, Outras	15
Agricultura (sequeiro)	12
Vegetação arbustiva	10

Densidade da rede de drenagem	Peso específico
Muito baixa (< 3/ km <sup>2</sup> )	15
Baixa (3 - 6/ km <sup>2</sup> )	13
Média (6 - 9/ km <sup>2</sup> )	10
Alta (> 9/ km <sup>2</sup> )	8

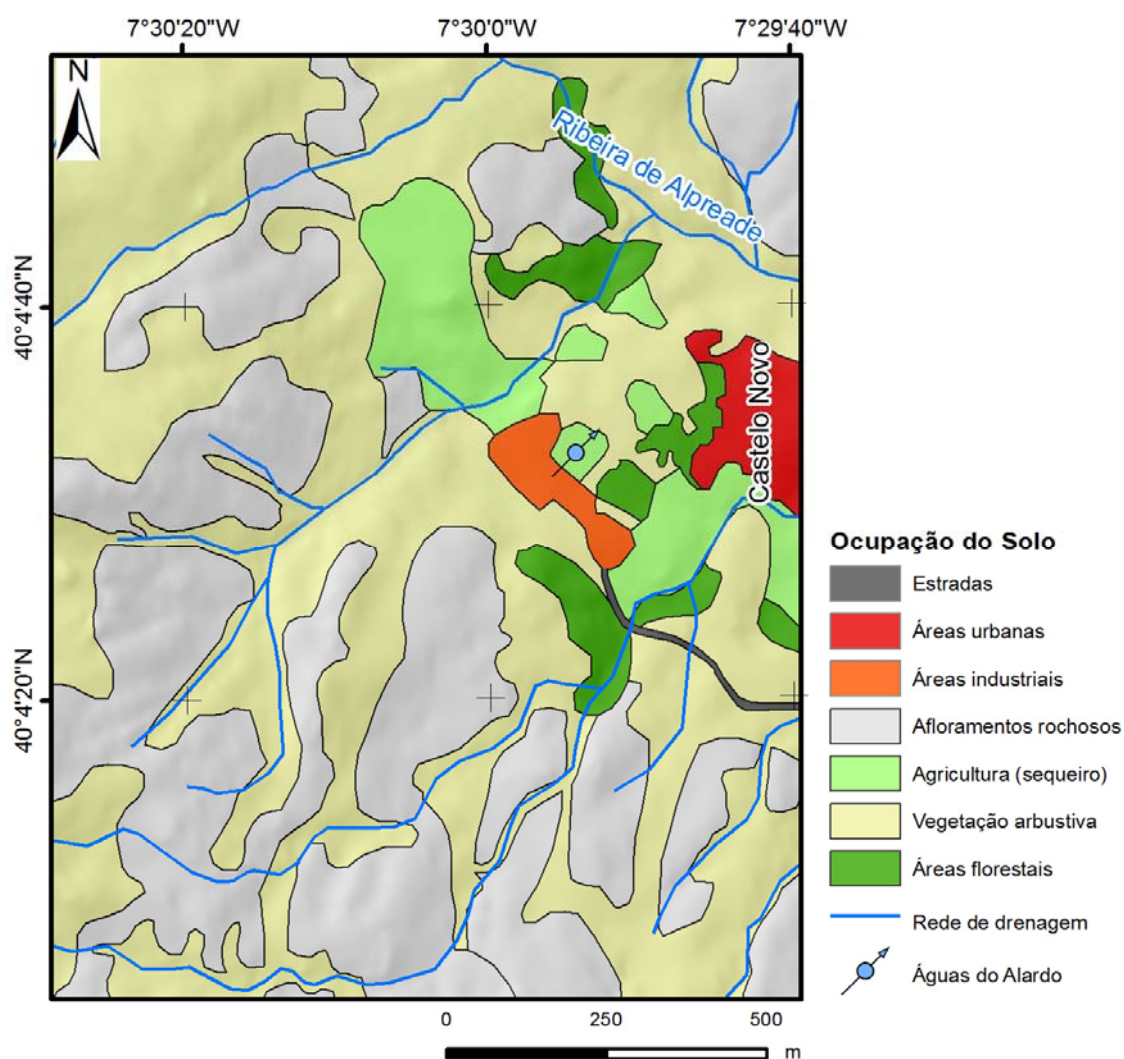


Figura 307 – Mapa da ocupação do solo da área do Alardo.

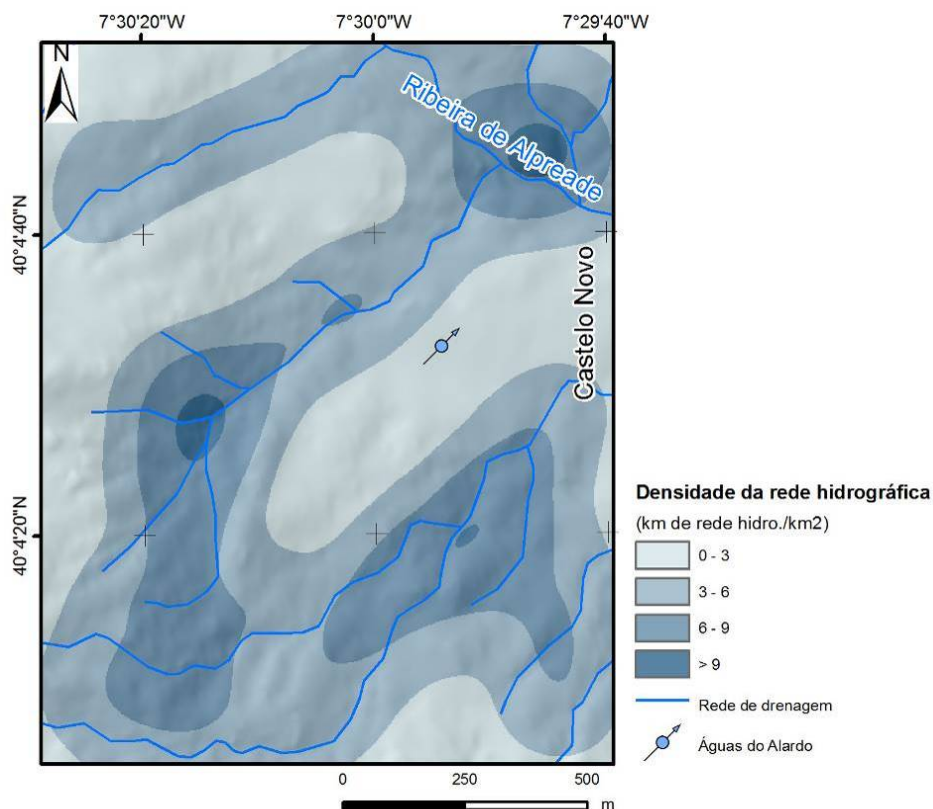


Figura 308 – Mapa da densidade da rede de drenagem da área do Alardo.

Os *declives* (figura 309) apresentam-se também como um factor muito importante na explicação do potencial de infiltração de uma determinada área, e por isso foi-lhe atribuído um peso máximo de 20%, que corresponderá às áreas planas, ou com declives inferiores a 5°.

Na área do Alardo registam-se sobretudo declives elevados (>15°), especialmente nas áreas a Oeste, nas vertentes da Serra da Gardunha. As áreas de declives suaves surgem sobretudo no sector Noroeste da área, onde os declives se situam, geralmente, no intervalo 5 – 15°, sendo muito exíguas as áreas com declives abaixo dos 5°.

A *precipitação* apresenta, no caso concreto do Alardo, variações espaciais acentuadas, condicionadas especialmente pela altitude, tendo sido os valores mais elevados registados no topo da Serra da Gardunha. Atribuiu-se um peso máximo de 10% a este factor (quadro 66). O mapa resultante pode ser observado na figura 310.

Quadro 66 – Pesos específicos (%) atribuídos aos factores declives e precipitação.

Declives	Peso específico	Precipitação	Peso específico
Muito baixo (0° - 5°)	20	> 1200 - 1400 mm/ano	10
Baixo (5° - 15°)	15	1100 - 1200 mm/ano	8
Médio (15° - 25°)	10	1000 - 1100 mm/ano	6
Alto (> 25°)	5	< 1000 mm/ano	4

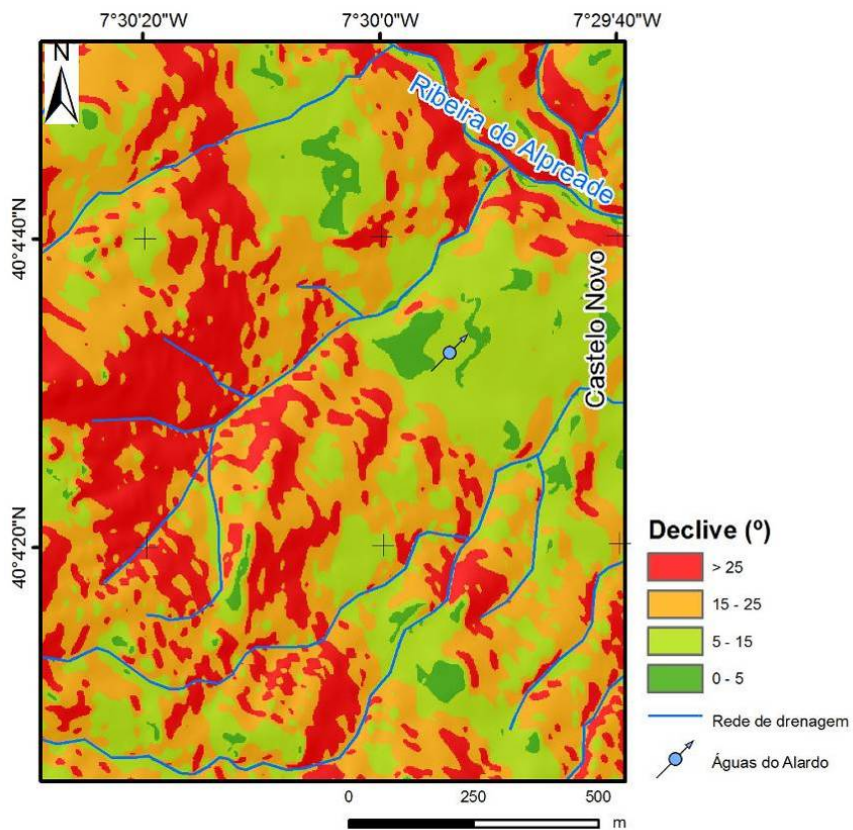


Figura 309 – Mapa de declives da área do Alardo.

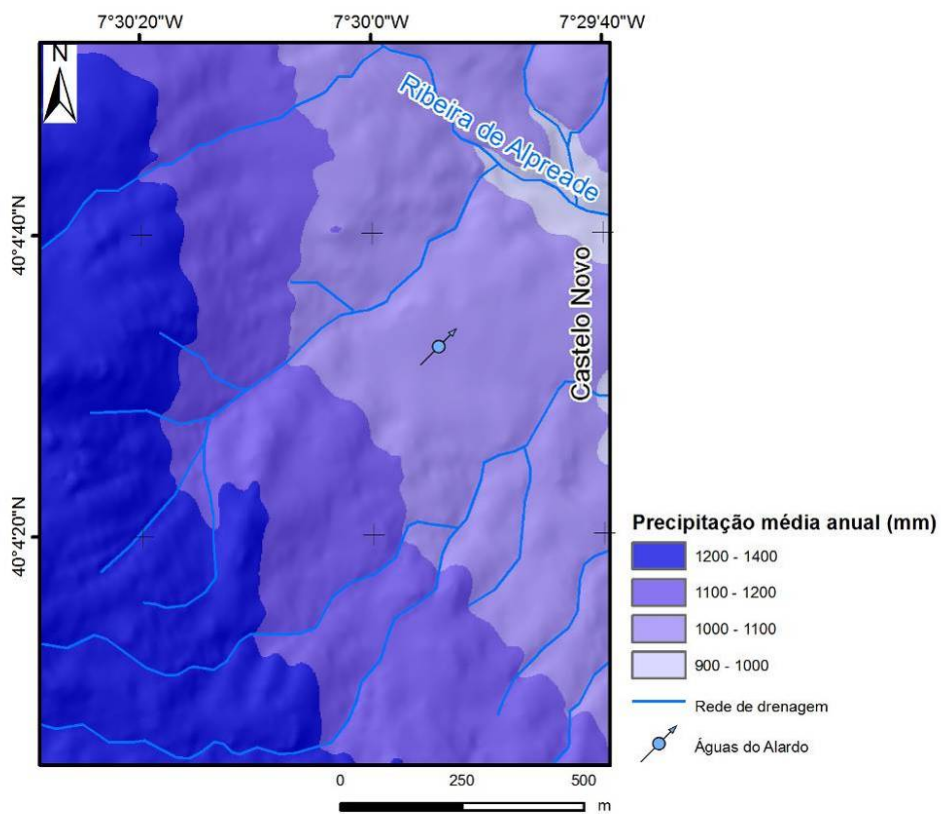


Figura 310 – Mapa da precipitação média anual da área do Alardo.

Do cruzamento e análise destes dados, em ambiente SIG, resultou num mapa em que é possível identificar as áreas com maior potencial de infiltração, isto é, as áreas em que a combinação de todos os factores enunciados é mais elevada. Os valores calculados foram então agrupados em três classes: classes: baixa (25-50%), média (50-75%) e alta (75-100%), (Figura 311).

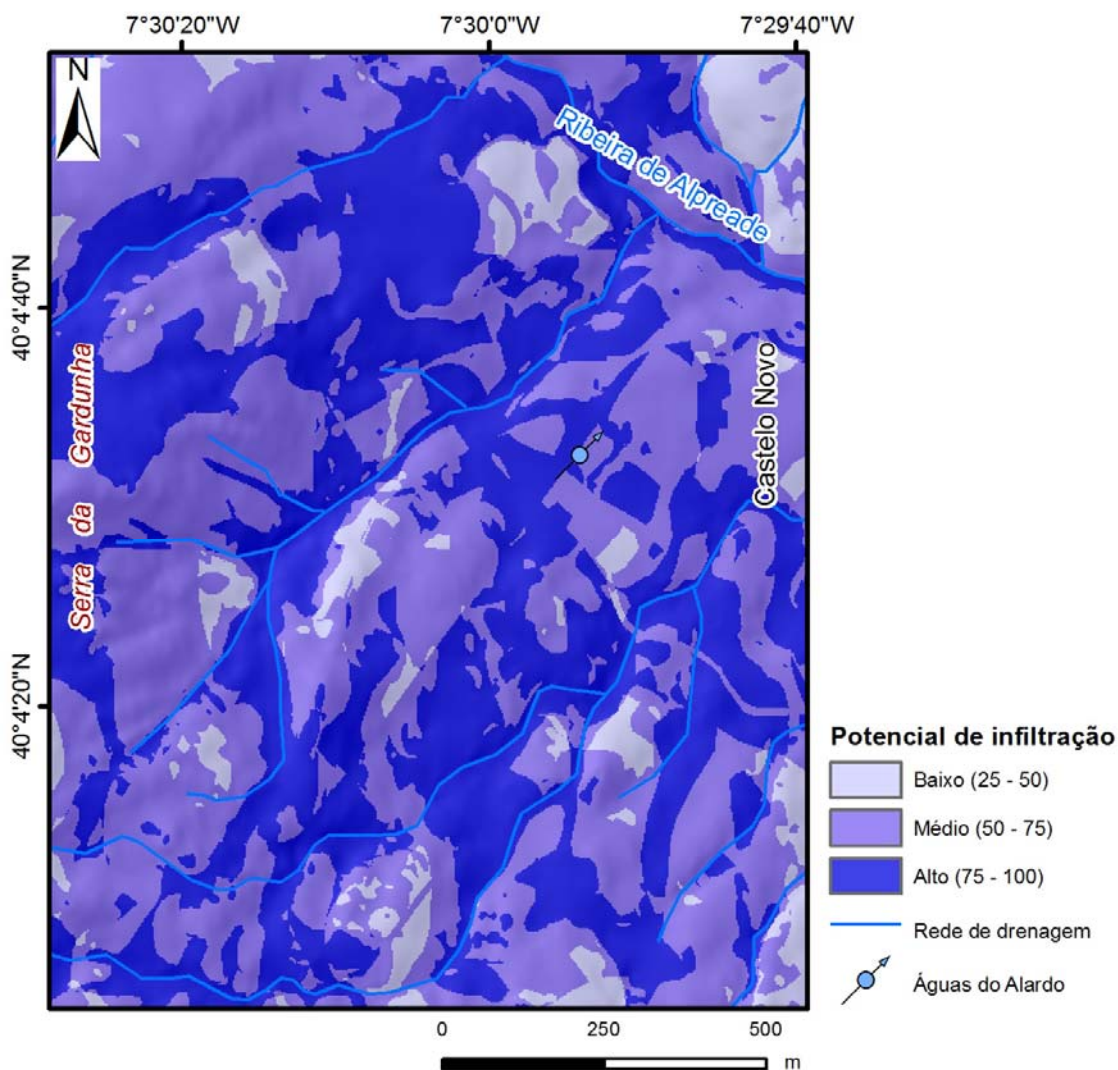


Figura 311 – Potencial de infiltração da área do Alardo.

A sobreposição deste mapa com o mapa geomorfológico permite assim uma leitura integradora dos locais mais relevantes em termos de infiltração na área do Alardo, contribuindo também para o refinamento do modelo hidrogeológico conceptual da área. Da leitura do mapa, ressalta que as áreas com maior potencial de infiltração (Figura 312) estão localizadas sobretudo em áreas localizadas na área central do mapa. Estas áreas resultam da combinação favorável dos factores principais: litologia (rochas graníticas alteradas) e declives baixos (fundo de vale aplanado). As áreas de médio potencial de infiltração correspondem sobretudo a áreas de vertente, e estão relacionadas sobretudo



com a presença de áreas graníticas menos alteradas e menos fracturadas, e em que os declives apresentam valores por vezes muito elevados. As áreas que apresentam potencial de infiltração muito reduzido estão distribuídas de forma mais ou menos aleatória pela área do mapa, mas concentram-se, sobretudo, nas áreas menos favoráveis em termos de ocupação do solo, i.e., as áreas impermeabilizadas e as áreas de afloramentos rochosos.

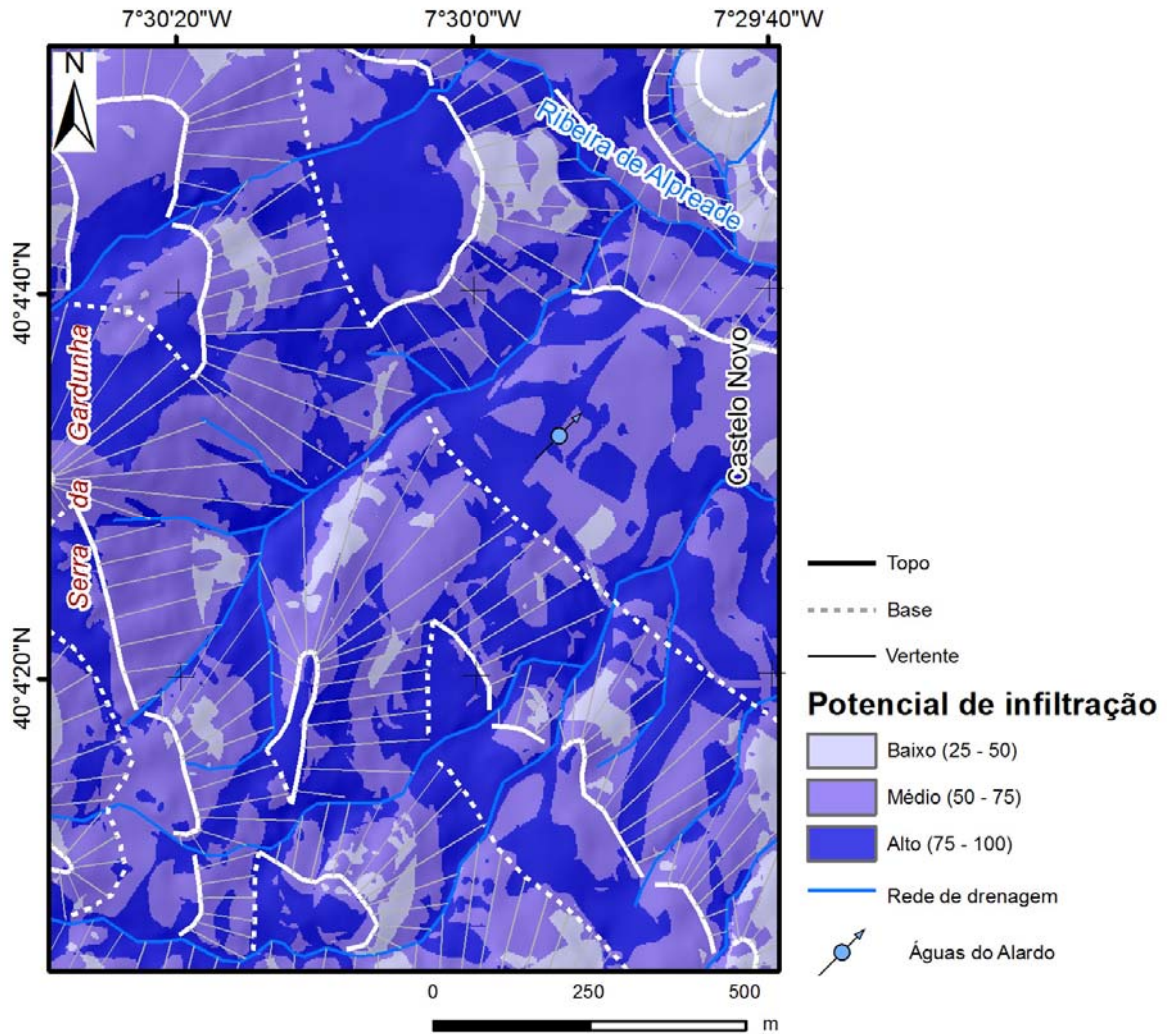


Figura 312 – Mapa hidrogeomorfológico da área do Alardo.



---

***Parte 3***



---

## **6. Modelos hidrogeológicos conceptuais: o papel da hidrogeomorfologia**



---

## 6. Modelos hidrogeológicos conceptuais: o papel da hidrogeomorfologia

### 6.1. Considerações iniciais

A tentativa de isolamento dos componentes de um determinado sistema, bem como a identificação das diversas relações entre eles, é uma tarefa complexa, suportada, geralmente, pela construção de modelos. Estes exigem sempre um certo grau de abstracção e simplificação, uma vez que a realidade é composta por uma infinidade de elementos e relações, não sendo possível a representação da sua totalidade. É a este processo de simplificação e abstracção, bem como da sua representação sob diversas formas, que se dá o nome de *construção de modelos* (Espinha Marques et al., 2008; Huggett, 2011).

De uma maneira geral, um modelo pode ser definido como uma representação simplificada de um sistema real, numa tentativa de o descrever, analisar e representar. A construção de modelos é assim uma ferramenta importante para os investigadores da área das geociências (Fookes, 1997), podendo os modelos construídos apresentar diferentes níveis de abstracção/simplificação (Strahler, 1980; Fetter, 2001; Huggett, 2011; figura 313).

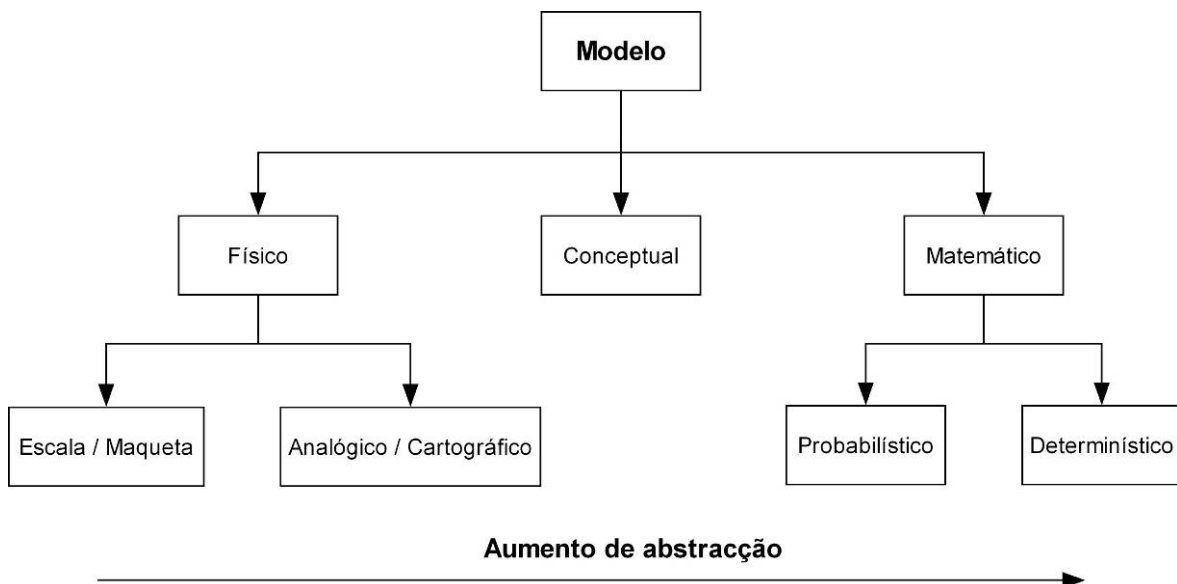


Figura 313 – Tipos de modelos em geociências e, em particular, em estudos de geomorfologia aplicada (adaptado de Huggett, 2011).

O primeiro tipo de modelo, os *modelos físicos*, apresentam, regra geral, grandes semelhanças com a realidade representada. Os modelos de *Escala* ou de *Maqueta* são

---

cópias dos sistemas que representam e que podem ter diferentes tamanhos, desde miniaturas a simuladores gigantes. Estes modelos diferem do sistema real apenas no tamanho. Estes modelos à *escala*, ou *maquetas*, podem ser construídos com materiais como cortiça ou plasticina (*e.g.*, modelos tridimensionais do relevo de uma determinada área), ou de materiais naturais (*e.g.*, rocha, areia ou argilas) em escala reduzida do sistema natural. Este tipo de modelos, devido à sua aproximação à realidade, permitem, por exemplo, a simulação dinâmica dos fenómenos que ocorrem no sistema real (Huggett, 2011).

Os modelos *analógicos ou cartográficos* apresentam um grau de abstracção ligeiramente maior que os modelos anteriores, sendo os exemplos mais comuns os mapas e as imagens de satélite. Num mapa, as características de um determinado sistema são reduzidas na escala e representadas por símbolos (*e.g.*, rios por linhas, vértices geodésicos por pontos, construções por polígonos). Este tipo de modelos é estático, sendo-lhe apenas acrescentada a componente dinâmica quando se está na presença de uma série cartográfica, do mesmo local, em diferentes datas (Huggett, 2011).

Os modelos *conceptuais* apresentam-se como o primeiro passo na modelação de um sistema natural e correspondem a ideias expressas através de palavras e ilustrações esquemáticas, as quais resultam da análise da análise, da interpretação e da síntese da informação relativa desse sistema, num determinado momento (*e.g.*, Fookes, 1997; Espinha Marques et al., 2008; Carvalho et al., 2009). A modelação conceptual implica, necessariamente, simplificações e generalizações, que devem garantir o rigor da representação gráfica elaborada. No entanto, o uso das simplificações e generalizações deve ser restringido, sob pena de o modelo elaborado se tornar demasiado simplista.

Os modelos *matemáticos* traduzem, através da linguagem simbólica e formal da matemática, as ideias expressas nos modelos conceptuais. A linguagem matemática apresenta-se, assim, como uma importante ferramenta no processo de modelação. Contudo, o acto de quantificação e de representação das ideias e observações por símbolos e números necessita que lhe sejam aplicados processos de avaliação e validação (Huggett, 2011). O processo contínuo de construção do modelo matemático, da sua avaliação e validação e dos seus re-ajustes permite a construção de modelos cada vez mais robustos.

Os modelos matemáticos podem dividir-se em dois grandes tipos: os modelos *probabilísticos* e os modelos *determinísticos*. Os modelos probabilísticos incluem dois tipos de modelos: os *estocásticos*, *i.e.*, os modelos que incorporam componentes naturais aleatórios, e os mais utilizados, os modelos *estatísticos*, que se caracterizam por apresentarem também alguns componentes com um certo grau de incerteza e aleatoriedade, que dependem das flutuações dos dados de campo ou de laboratório, tais



---

como, os erros de medição ou do próprio método analítico utilizado, ou então, a variabilidade dos objectos em análise. Por fim, os modelos *determinísticos* são apresentados sob a linguagem matemática e não apresentam qualquer componente aleatória, sendo testados e validados por comparação com observações independentes do modelo, realizadas no terreno ou em laboratório (Huggett, 2011).

Neste contexto, a construção de um modelo hidrogeológico conceptual deve ser o primeiro passo de todo o processo de modelação. A qualidade dos modelos matemáticos elaborados está subseqüentemente dependente, em grande parte, do modelo conceptual elaborado (LeGrand & Rosen, 2000; Sophocleous, 2002; Bredehoeft, 2005; Dewandel et al., 2006; Espinha Marques et al., 2008; Carvalho et al., 2009; Rodrigues et al., 2010; Afonso, 2011). Tal como foi referido, a modelação conceptual implica a assumpção de simplificações, fundamentais para facilitar a aplicabilidade do modelo, as quais devem ser, tanto quanto possível, restringidas, de forma a garantir o rigor da representação.

A revisão do modelo conceptual elaborado é feita, em geral, quando são recolhidos novos dados ou surgem outras evidências científicas relevantes, num processo contínuo, que pode decorrer durante vários anos (Rojas et al., 2010; Afonso, 2011).

A ligação clara entre a cartografia geológica, a cartografia geomorfológica e a modelação hidrogeológica é a base da construção de um modelo conceptual relacionado com os recursos hídricos subterrâneos (e.g., LeGrand, 1987; LeGrand & Rosen, 2000; Shapiro, 2001; Nastev et al., 2005; Kavetski et al., 2006; Singhal & Gupta, 2010; Huggett, 2011).

Em hidrogeologia, as técnicas de modelação e, em especial, a modelação conceptual têm sido usadas com sucesso na previsão do papel das áreas de infiltração e recarga/descarga da água subterrânea, na gestão da água subterrânea tendo em vista uma exploração sustentável dos recursos hídricos e, ainda para estimar o efeito da entrada e transporte de contaminantes e até dos potenciais poluentes nas águas subterrâneas, no espaço e no tempo (LeGrand, 1987; White, 1999; LeGrand & Rosen, 2000; Portugal et al., 2000; Lachassagne et al., 2001; Sophocleous, 2002; Bredehoeft, 2005; Dewandel et al., 2006; Espinha Marques et al., 2008; Banks et al., 2009; Espinha Marques et al., 2010; Rojas et al., 2010; Afonso, 2011).

A modelação (física, conceptual ou matemática) tem sido utilizada como uma ferramenta fundamental no estudo de sistemas hidrológicos e hidrogeológicos (e.g., Fetter, 2001; Fitts, 2002; Espinha Marques et al., 2008). Os modelos podem ser aplicados com sucesso nas mais variadas escalas e contextos hidrogeológicos.

No presente estudo, os casos anteriormente abordados e os modelos apresentados no ponto seguinte dizem respeito a contextos hidrogeológicos de rochas cristalinas. Neste tipo de formações, a medição dos processos hidrológicos e hidrogeológicos apresenta limitações importantes, quer devido ao tipo de técnicas comumente utilizadas, quer à

---

distribuição espacial e temporal dos registos, pelo que a modelação surge como uma ferramenta expedita de compreensão dos sistemas hidrogeológicos (Espinha Marques et al., 2008; 2010). O modelo conceptual deve ser dinâmico, devendo ser adaptado à medida que evolui o conhecimento hidrogeológico sobre uma dada área (Carvalho, 2006).

O processo de modelação conceptual implica a identificação do tipo de sistema hidrogeológico, bem como um conhecimento aprofundado das suas características principais (e.g., a litologia, o tipo de solo, a geomorfologia, a variabilidade espacial dos parâmetros geohidráulicos, a hidrogeoquímica, as características geológicas e geométricas dos limites do sistema, etc.), bem como dos seus principais processos físicos e químicos. O modelo conceptual de uma determinada área assenta, assim, fortemente na sensibilidade e capacidade de abstracção do investigador, reflectindo, deste modo, muita da sua experiência de campo (Espinha Marques, 2007; Espinha Marques et al., 2008; 2010).

No caso das rochas cristalinas e, em especial, das rochas graníticas nas quais se posicionam os casos de estudo aqui apresentados, são muitos e complexos os factores que controlam a infiltração e a circulação da água subterrânea à escala local, dos quais se destacam (e.g., Shapiro, 2001; Neuman, 2005; Krásný & Sharp, 2007; Maréchal et al., 2007; Scesi & Gattinoni, 2009; Singhal & Gupta, 2010): a heterogeneidade litológica, a orientação das descontinuidades, o grau e a densidade da fracturação em termos de compartimentação do maciço, a conectividade entre descontinuidades, a abertura e o preenchimento das descontinuidades, a natureza da matriz rochosa e o seu grau de alteração. A modelação dos fluxos de água nestes sistemas reside precisamente na dificuldade de caracterização destes e de outros factores, pelo que a modelação matemática está ainda num estágio inicial neste tipo de formações rochosas (Singhal & Gupta, 2010). A modelação dos sistemas hidrogeológicos que ocorrem neste tipo de formações está fortemente dependente da recolha de dados no terreno, pelo que se torna imperativo o uso, sempre que possível, de técnicas que permitam caracterizar o maciço rochoso de uma forma mais pormenorizada, sempre que os estudos se desenvolvam em escalas de grande detalhe.

Neste trabalho foram ainda usadas, além das referidas técnicas geológicas de caracterização do maciço rochoso, metodologias interdisciplinares para a recolha, tratamento e análise da informação, cujo uso se torna cada vez mais recorrente em trabalhos de índole hidrogeológica, fortemente apoiadas nos sistemas de informação geográfica (SIG) e métodos indirectos, como é o caso da geofísica aplicada.

Nos modelos conceptuais apresentados no ponto seguinte representaram-se, sempre que possível, os seguintes elementos (Carvalho, 2006; Espinha Marques, 2007; Afonso,

---

2011): a geo-estrutura do reservatório (nomeadamente a litologia, a estrutura e a petrofísica), o tipo de permeabilidade, as estruturas hidrogeológicas que condicionam a circulação e a sua distribuição no espaço, bem como a fácies hidrogeoquímica da água, as condições de recarga, e a avaliação das condições de descarga. Finalmente, apresenta-se a discussão geral dos modelos propostos e apontam-se alguns dos contributos da abordagem hidrogeomorfológica testada nesta investigação para a elaboração e refinamento dos modelos hidrogeológicos conceptuais das áreas de estudo.

## **6.2. Modelo hidrogeológico conceptual dos pólos de estudo**

Os modelos hidrogeológicos conceptuais que se apresentam seguidamente para cada caso de estudo são o culminar dos estudos realizados nas diversas áreas, e que foram sendo refinados conjuntamente com os avanços dos trabalhos apresentados no capítulo 5. Na conceptualização holística multi-critério, apoiada com a criação/desenvolvimento de uma base SIG, foi perspectivada segundo a recente e interessante abordagem da “Zona Crítica da Terra” que alia uma integração e interdependência dos sistemas hidrosfera/biosfera/geosfera (NRC, 2001; Lin, 2010; Lin et al., 2010) e retomado o espírito dos estudos pioneiros de cartografia hidrogeomorfológica aplicada às investigações de águas subterrâneas de Tricart (1963; 1978, de Tricart et al. (1965) e de Cloots-Hirsch & Tricart (1978). Obviamente que na presente investigação é assumida a perspectiva do estudo dos sistemas aquíferos em maciços rochosos fracturados/fissurados e o papel da hidrogeomorfologia (*sensu* Tricart, 1963; 1978; Scheidegger, 1973; Gregory, 1979; Sidle & Onda, 2004; Babar, 2005) para o refinamento dos modelos hidrogeológicos conceptuais em rochas-duras fracturadas visando a sustentabilidade do georrecurso. A abordagem sobre o papel da hidropedologia (Lin, 2003; 2010; Lin et al., 2005; 2006; 2010; Wilding & Lin, 2006) e da hidromorfologia (Orr et al., 2008; Vogel, 2011) terá de ser objecto de investigação autónoma e não está nos objectivos deste estudo.

Para complementar a análise multicritério apresentada no capítulo 5, foi realizado, para cada sector de estudo, o cálculo de dois cenários complementares, nos quais foram testados diferentes ponderações e pesos específicos para cada um dos factores em questão.

Para o efeito foram utilizados os mesmos critérios e a bibliografia internacional de referência sobre a temática (consultar capítulos 3 e 5). Assim, o Cenário 1 corresponderá, na nossa opinião, à situação de pormenor e equilíbrio entre os parâmetros apresentados no capítulo 5, em que assumem maior importância na explicação do potencial de infiltração de determinada área os factores litologia e estrutura/grau de alteração do maciço, a densidade de lineamentos tectónicos e os declives das vertentes. No caso do

---

Cenário 2, foram mantidos os pesos relativos da litologia e estrutura/grau de alteração e da densidade de lineamentos tectónicos. Porém, foram aumentados os pesos relativos aos factores ocupação do solo e declives, e reduzida a importância da densidade da rede de drenagem. Atendendo à baixa variabilidade espacial, bem como aos valores registados de precipitação média anual, neste segundo cenário a precipitação assume um peso inferior; além disso, foi atribuído um peso muito baixo a este factor na simulação do Cenário 3. A densidade da rede de drenagem assume também neste último cenário um peso muito baixo, sendo os pesos relativos mais importantes assumidos pela litologia e estrutura/grau de alteração, densidade de lineamentos tectónicos e declives, e ligeiramente menor que estes, da ocupação do solo. A construção, análise e comparação destes cenários foi também uma importante ferramenta na elaboração e refinamento dos modelos conceptuais apresentados.

Os modelos conceptuais apresentados reflectem os diferentes tipos de geossistemas, sistemas aquíferos e as suas características hidrogeoquímicas e hidrodinâmicas, que foram definidos tendo em conta toda a informação disponível para cada pólo de estudo.

### ***Modelo hidrogeológico conceptual da área das Caldas da Cavaca***

No sistema hidromineral das Caldas da Cavaca, conforme se destacou no respectivo capítulo (5.3), foram identificadas várias áreas em que o potencial de infiltração é bastante elevado, correspondendo essencialmente às áreas localizadas junto às povoações da Quinta dos Matos, da Quinta das Lameiras e da Cavaca, a NW, W e SE, respectivamente, do balneário termal das Caldas da Cavaca. Conforme se referiu também, estas áreas caracterizam-se por serem planálticas, nas quais o granito se apresenta em geral mais alterado, e a densidade de lineamentos tectónicos é mais elevada.

A sobreposição do mapa hidrogeomorfológico anteriormente apresentado com os pontos de água do inventário hidrogeológico de campo (figura 314) permitiu verificar que as áreas onde foi identificado um maior potencial de infiltração correspondem aos locais onde se localizam captações de água normal, nomeadamente do tipo poço, bem como de algumas nascentes. As captações do tipo poço às quais tivemos acesso durante os trabalhos de campo permitem afirmar que estas não apresentam, geralmente, profundidades superiores a 10 m, captando as águas normais, de ciclo curto, na zona superficial mais alterada do maciço granítico. Este tipo de captações é, actualmente, utilizado maioritariamente para a rega de terrenos agrícolas, os quais predominam na envolvente das povoações da Cavaca, da Quinta dos Matos e da Quinta das Lameiras.

---

As captações de água do tipo mina (escavadas em maciço rochoso) parecem estar condicionadas, essencialmente, por estruturas geológicas regionais, em áreas com médio potencial de infiltração. Este tipo de captações é pouco frequente, e os trabalhos de campo revelaram caudais muito baixos.

Atendendo à grande concentração de captações na área envolvente às Caldas da Cavaca e para que fosse possível uma análise mais detalhada apresenta-se um pormenor da área do balneário termal das Caldas da Cavaca na figura 315.

Na área envolvente ao balneário das Caldas da Cavaca verificou-se a ocorrência de uma série de emergências ou captações de água normal, que se encontram localizadas, precisamente, nas áreas onde o potencial de infiltração é mais elevado ou junto aos limites destas áreas com as de potencial de infiltração médio. A área de elevado potencial de infiltração corresponde à área de fundo de vale, onde o substrato granítico se encontra recoberto por um depósito aluvionar (de espessura não superior a 5 m) e rocha granítica muito alterada, com declives muito baixos e onde se verifica uma concentração e cruzamento de lineamentos tectónicos. No entanto, conforme se viu a propósito do inventário hidrogeológico, as captações de água normal do tipo furo revelaram caudais muito baixos, à semelhança das emergências naturais aqui registadas.

As captações de água mineral ocorrem também numa área com potencial de infiltração alto. No entanto, atendendo ao tipo de captação e às características do circuito hidromineral, as áreas de recarga das águas minerais não deverão corresponder a esta extensa área de alto potencial de infiltração na envolvente das captações, mas antes a áreas mais afastadas e a cota mais elevada, das quais, no actual estado do conhecimento ainda não é possível caracterizar com a segurança e rigor desejados..

Conforme se referiu anteriormente, foi realizada uma abordagem complementar, na qual foram reavaliados outros valores máximos atribuídos a cada factor explicativo do potencial de infiltração, alterando assim os seus pesos relativos, para criar cenários conservativos. A síntese dos factores e dos pesos relativos é apresentada no quadro 67, e o resultado cartográfico apresentado na figura 316.

Os cenários 2 e 3, mais conservativos, representados na figura 316 apresentam resultados gerais satisfatórios, provando-se assim a sua aplicabilidade em áreas montanhosas. É visível claramente a diminuição das áreas com potencial de infiltração mais elevado, tendo-se registado no cenário 3 um grande aumento das áreas de baixo potencial de infiltração, controladas essencialmente pelo maior peso atribuído à geologia/grau de alteração e aos declives elevados. Esta situação é, especialmente, visível na área a NW das Caldas da Cavaca. As diferentes simulações realizadas permitiram ainda verificar, na generalidade, a já referida localização das captações e

emergências de águas normais em áreas de potencial de infiltração elevado ou em áreas de fronteira entre as áreas de potencial de infiltração elevado e médio.

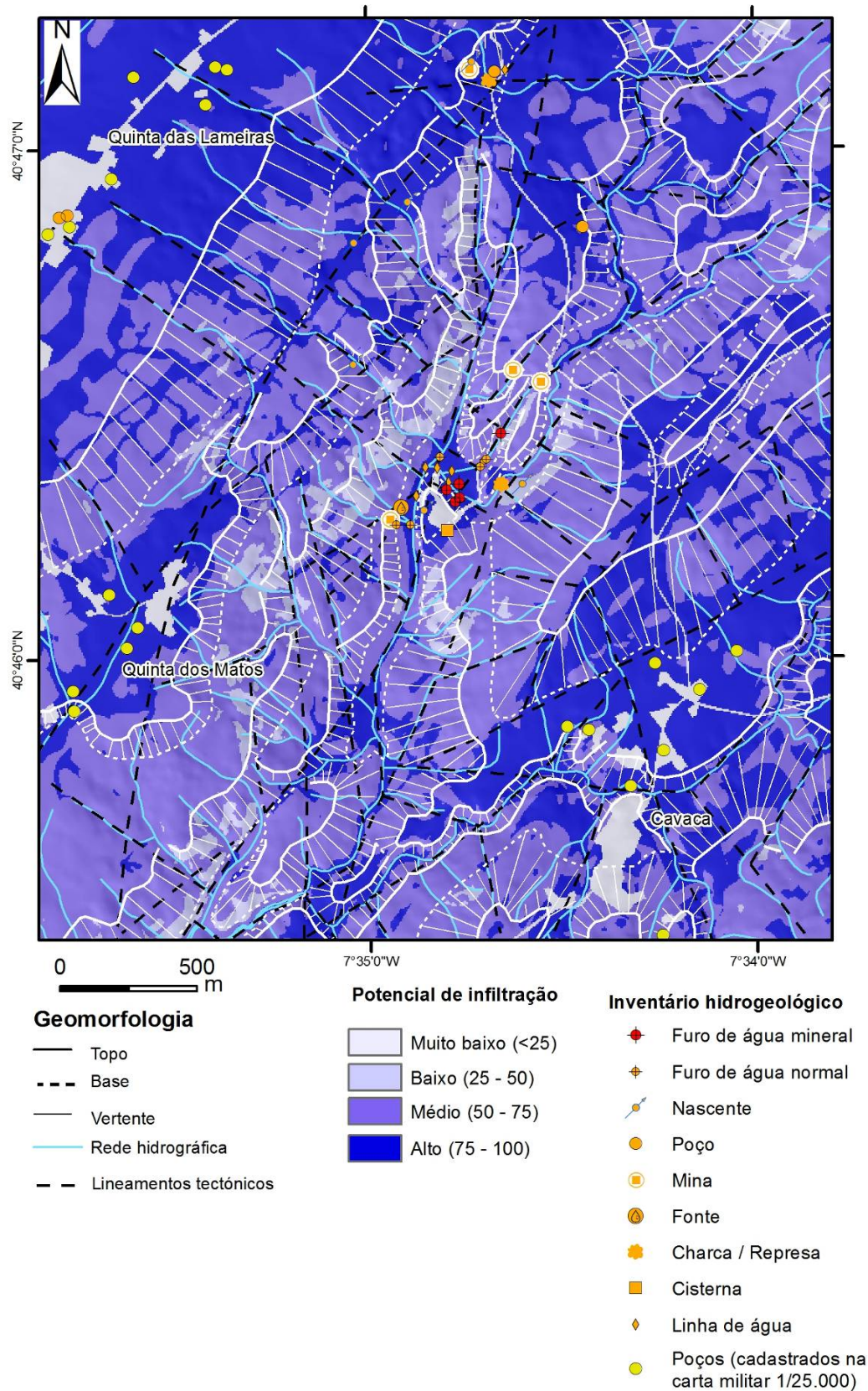


Figura 314 - Esboço hidrogeomorfológico e inventário hidrogeológico da área das Caldas da Cavaca.

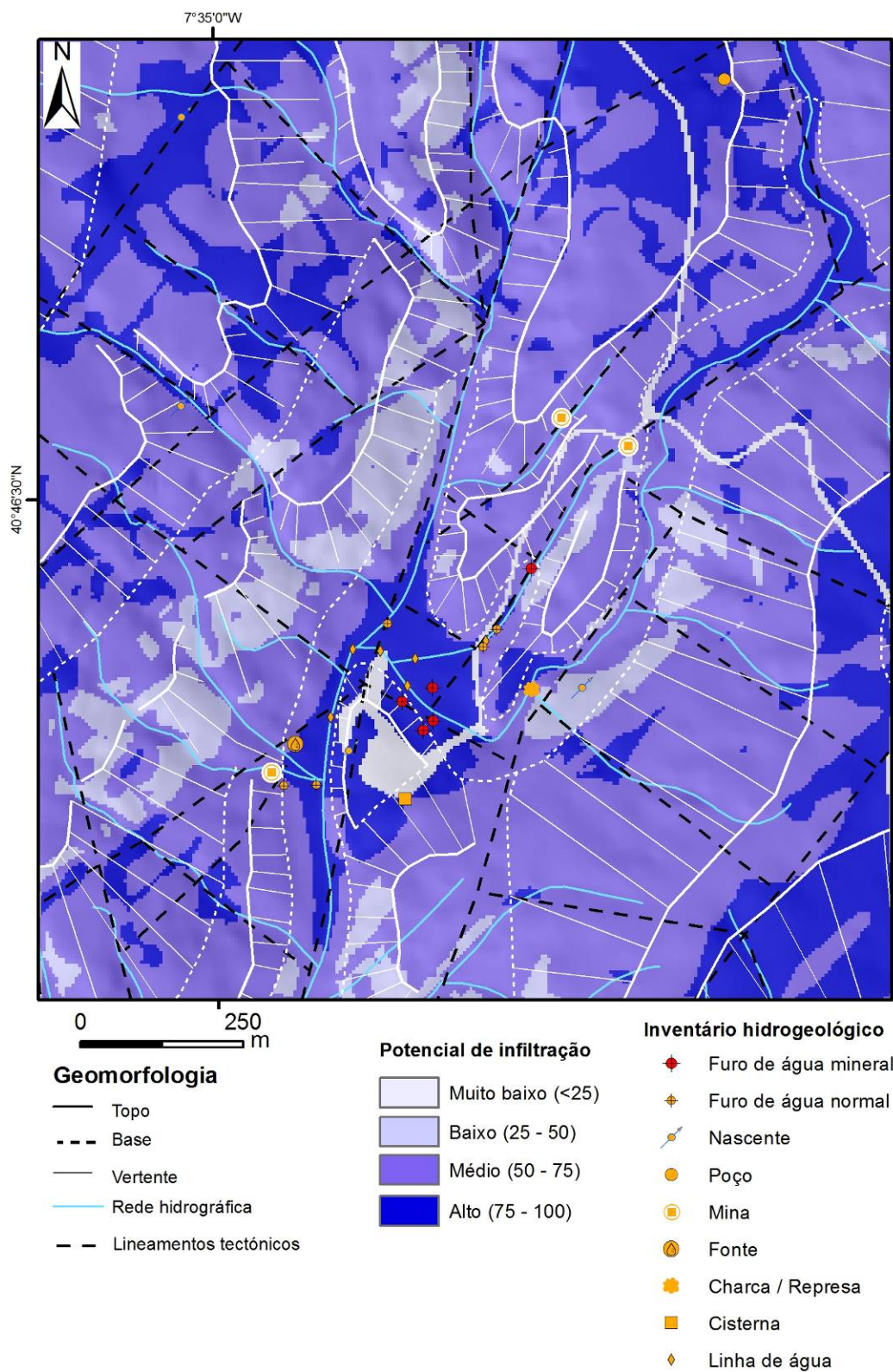


Figura 315 - Esboço hidrogeomorfológico de pormenor e inventário hidrogeológico da área das Caldas da Cavaca.

Quadro 67 – Factores e pesos específicos considerados nos diferentes cenários de cálculo do potencial de infiltração testados na área das Caldas da Cavaca.

Factores		Peso relativo		
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Litologia / Grau de alteração	Terraços, aluviões	20	20	25
	Granito são a pouco alterado	5	5	5
	Granito medianamente alterado	10	10	15
	Granito muito alterado	18	18	22
	Filões	15	15	18
Densidade de lineamentos tectónicos	Alta (> 21/km <sup>2</sup> )	20	20	25
	Média (14-21/km <sup>2</sup> )	15	15	18
	Baixa (7-14/km <sup>2</sup> )	10	10	14
	Muito baixa (< 7/km <sup>2</sup> )	5	5	7
Ocupação do solo	Estradas	1	4	4
	Áreas urbanizadas	2	4	4
	Afloramentos rochosos	5	7	7
	Floresta	15	20	18
	Agricultura (sequeiro)	12	17	16
	Vegetação arbustiva	10	15	15
Densidade da rede de drenagem	Muito baixa (< 3,5/ km <sup>2</sup> )	15	10	5
	Baixa (3,5 - 7/ km <sup>2</sup> )	13	8	4
	Média (7 - 10,5/ km <sup>2</sup> )	10	6	3
	Alta (> 10,5 / km <sup>2</sup> )	8	4	2
Declives	Muito baixo (0° -5°)	20	25	25
	Baixo (5° - 15°)	15	20	20
	Médio (15° - 25°)	10	15	15
	Alto (> 25°)	5	10	10
Precipitação	> 1200 mm/ano	10	5	2
	1100 – 1200 mm/ano	8	4	2
	1000 – 1100 mm/ano	6	3	1
	< 1000 mm/ano	4	2	1



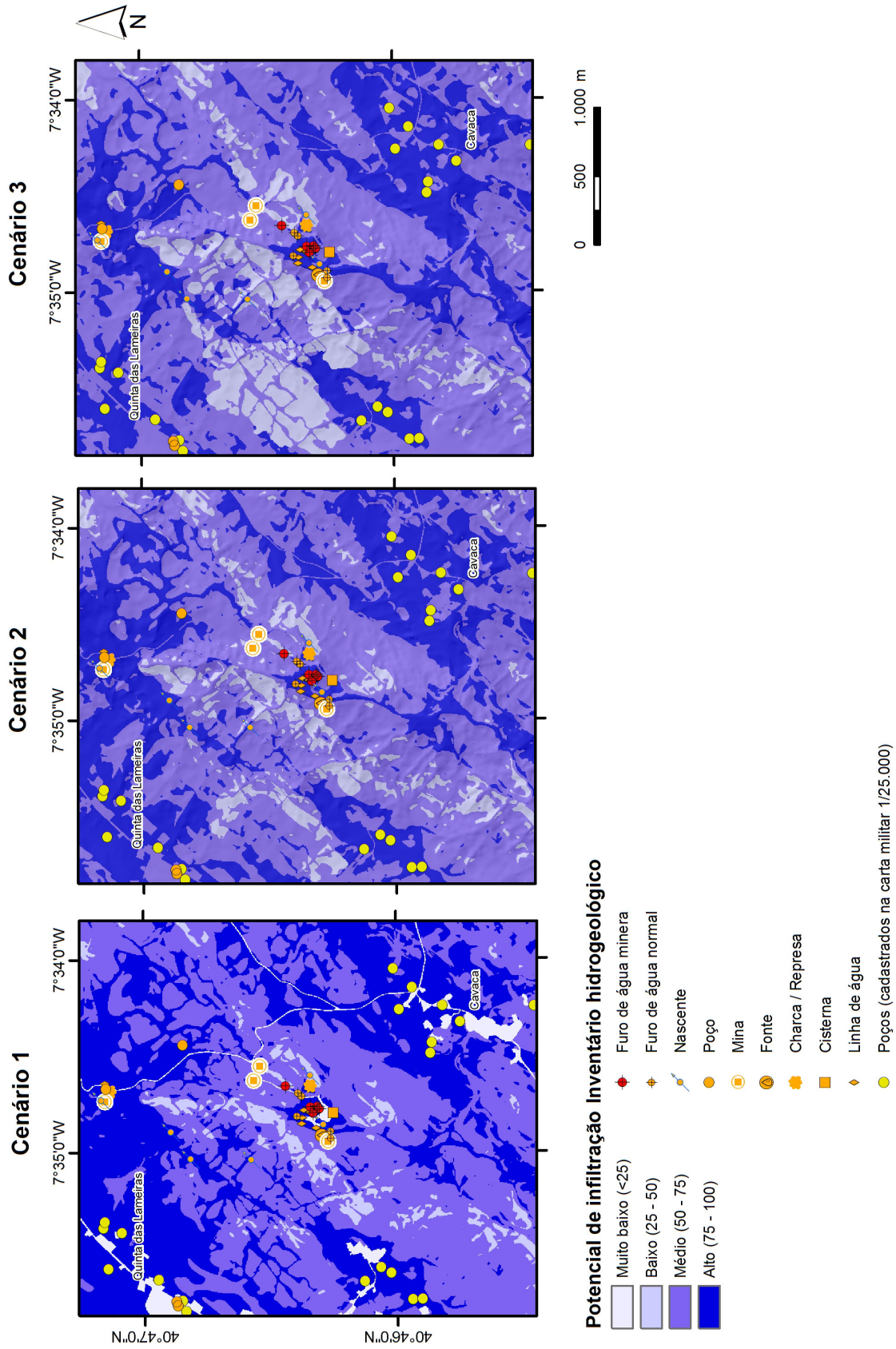


Figura 316 – Potencial de infiltração calculado para os diferentes cenários e inventário hidrogeológico da área das Caldas da Cavaca.

---

Na área envolvente das Caldas da Cavaca dominam as rochas granitóides, no seio das quais se instalaram filões e massas de quartzo, de rochas aplito-pegmatíticas, assim como filões de rochas básicas (doleritos), que se orientam segundo a direcção NE-SW e, mais raramente, segundo N-S ou NW-SE.

O relevo granítico da área serrana envolvente às Caldas da Cavaca contrasta com a área aplanada e exígua, onde se localizam os depósitos aluvionares, de fraca espessura (inferior a 5 m), que são constituídos, no geral, por materiais argilo-arenosos.

A megaestrutura frágil, com orientação geral NNE-SSW, cartografada na área das Caldas da Cavaca, designada por 'Falha da Ribeira de Côja' apresenta uma expressão cartográfica regional e, localmente, observam-se aspectos de esmagamento e de argilificação consideráveis.

Os levantamentos geológico-hidrogeotécnicos de superfície efectuados na envolvente às Caldas da Cavaca permitiram identificar as principais famílias de descontinuidades, que correspondem às direcções N130°E a N150°E, subverticais, e N35°E a N55°E; com inclinações entre 65° a 80°SE. A presença de água foi identificada, preferencialmente, nas famílias de descontinuidades N130°-150°E e N30°-60°E. Os ensaios geomecânicos *in situ* revelaram um maciço e superfícies das descontinuidades com resistência média à compressão uniaxial com valores entre 20 e 60 MPa (*i.e.*,  $S_3$ ) e que correspondem a um material-rocha medianamente alterado ( $W_3$ ).

Em termos climáticos, a área apresenta uma precipitação média anual de 1252 mm e uma temperatura média anual do ar de 13,0°C. A evapotranspiração real (ETR) calculada é de 581,8 mm, o valor do défice hídrico (DH) é de 168,9 mm e os excedentes hídricos (SH) correspondem a 670,6 mm.

A recarga média anual será da ordem dos 179 mm e, por conseguinte, a taxa de infiltração corresponderá a cerca de 14% da precipitação média anual.

O inventário hidrogeológico de campo permitiu identificar na área envolvente às Caldas da Cavaca 38 pontos de água, nos quais se incluem as emergências "clássicas" das Caldas da Cavaca.

Em síntese, na zona de descarga do sistema hidromineral das Caldas da Cavaca foram identificados três tipos de aquífero, que se representam no modelo conceptual da figura 317:

- Um *aquífero superficial*, livre, localizado nos depósitos aluvionares; águas de aluvião e dos cursos de água, têm um pH da ordem de 5,0 a 6,5 e condutividade eléctrica inferior a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . As temperaturas parecem estar na dependência directa da temperatura ambiente.

- 
- Um aquífero *livre a semi-confinado* com circulação de águas normais nas zonas alteradas e na maior parte das zonas fissuradas do granito; águas ocorrentes em zonas arenizadas ou de fracturação inconspícua em granitos, têm um pH de 5,0 a 6,5 e condutividade eléctrica de 20 a 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Os caudais são, regra geral, inferiores a 0,05 L/s, e a transmissividade inferior a 1  $\text{m}^2/\text{dia}$ . As águas normais da região caracterizam-se por terem mineralizações muito baixas, sendo bicarbonatadas sódicas, cloretadas sódicas ou na transição bicarbonatada-cloretada sódica.
  - Um aquífero *hidromineral confinado*, localizado em profundidade, excepto no local da emergência, junto das captações, claramente condicionado por uma zona de fraqueza estrutural em profundidade. Os furos de água mineral estão localizados no fundo do vale da Ribeira de Côja intersectando, nos primeiros metros, o depósito aluvionar, e atingindo uma profundidade máxima de 220 m na rocha granítica. A água extraída nestes furos apresenta uma temperatura que ronda os 29°C, com condutividades eléctricas mais elevadas (350-450  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e pH de 8,4 a 8,6. A transmissividade do sistema hidromineral varia entre 27 e 136  $\text{m}^2/\text{dia}$ . As águas minerais das Caldas da Cavaca são caracterizadas como mesotermiais, fracamente mineralizadas, com reacção alcalina, bicarbonatadas sódicas, fluoretadas, sulfidratadas.

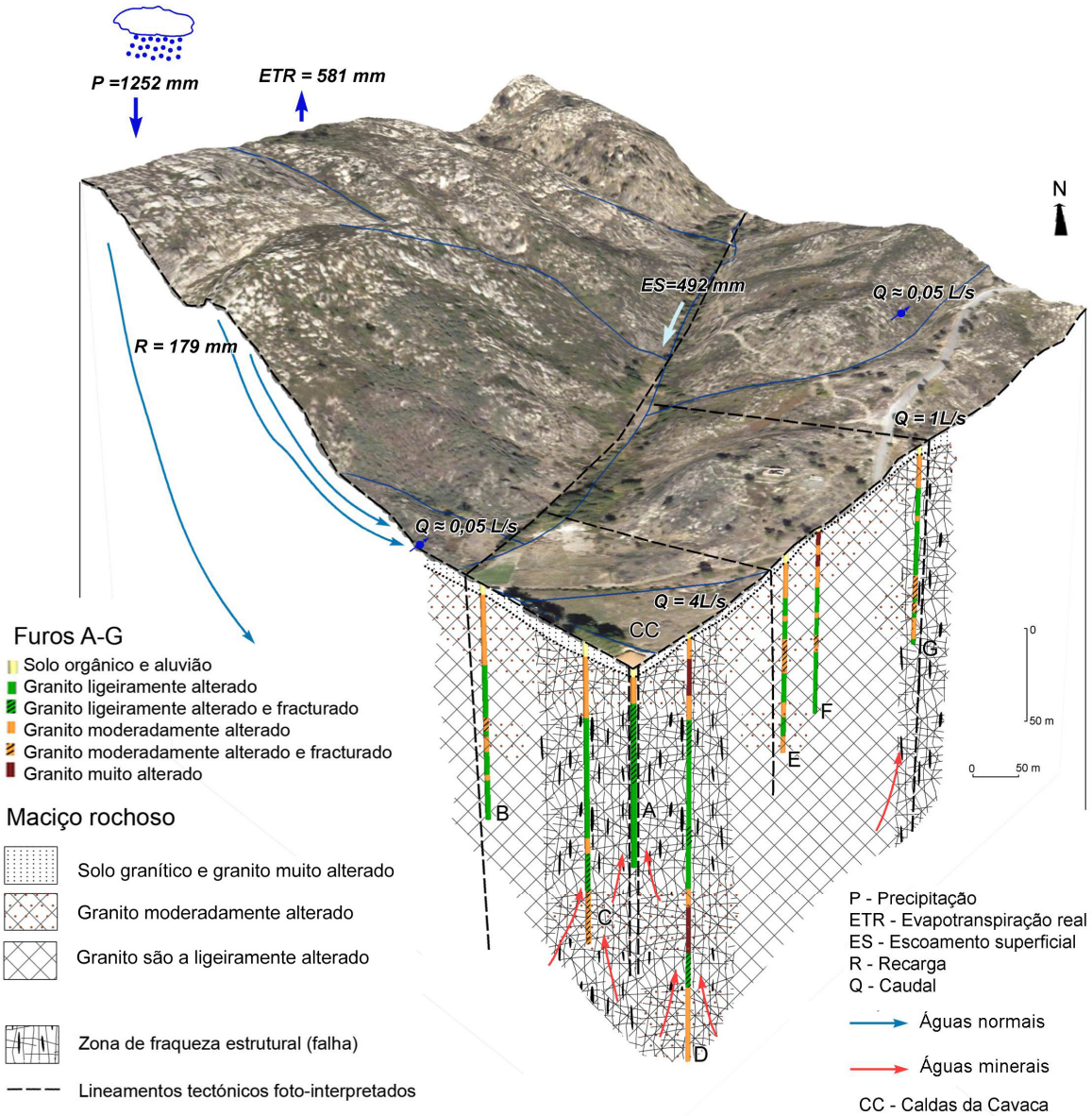


Figura 317 – Modelo hidrogeológico conceptual da área das Caldas da Cavaca.

---

## ***Modelo hidrogeológico conceptual da área da Noninha***

Na Noninha (Alvarenga, Arouca), conforme se observou no respectivo capítulo (5.4), foram identificadas várias de áreas em que o potencial de infiltração é elevado, correspondendo essencialmente às áreas localizadas junto ao Alto do Vale do Asno e no topo da Serra de S. Pedro, essencialmente a NE das Fragas do Couto. Estas áreas correspondem aos locais onde a combinação dos diferentes factores que controlam a infiltração são mais elevados. Correspondem, essencialmente, a locais onde o granito se apresenta em geral mais alterado, e a densidade de lineamentos tectónicos é mais elevada, bem como as áreas onde a ocupação do solo favorece os processos de infiltração.

A sobreposição do mapa hidrogeomorfológico anteriormente apresentado com os pontos de água do inventário hidrogeológico de campo (figura 318) permitiu verificar que as áreas onde foi identificado um maior potencial de infiltração correspondem aos locais onde se localizam as captações e emergências naturais de água da Noninha e Serra de S. Pedro. De registar ainda, como se viu a propósito do inventário hidrogeológico, que apesar das condições de favorabilidade na área a NW das Fragas do Couto, praticamente não foram registadas nascentes nessa área. O mesmo acontece nas áreas a SW do mapa apresentado, que corresponde à mancha de rochas metassedimentares.

À semelhança do sector anterior, foi também realizada uma abordagem complementar, na qual foram alterados os valores máximos atribuídos a cada factor explicativo do potencial de infiltração, variando assim os seus pesos relativos. A síntese dos factores e dos pesos relativos são apresentados no quadro 68, e o resultado cartográfico apresentado na figura 319.

Os cenários 2 e 3 apresentam-se como mais conservativos, mas os seus resultados apresentam-se também satisfatórios, tendo-se registado a maior diminuição de áreas com alto potencial de infiltração e o maior aumento das áreas com potencial de infiltração mais baixo no cenário 2, onde os factores uso do solo e declives assumem maior valor relativo.

Em qualquer um dos cenários, foi possível verificar que, na generalidade, a localização das captações e emergências de águas normais ocorre em áreas de potencial de infiltração elevado ou em áreas de fronteira entre as áreas de potencial de infiltração elevado e médio, o que nos leva a crer que o índice tem aplicabilidade comprovada na área da Noninha.

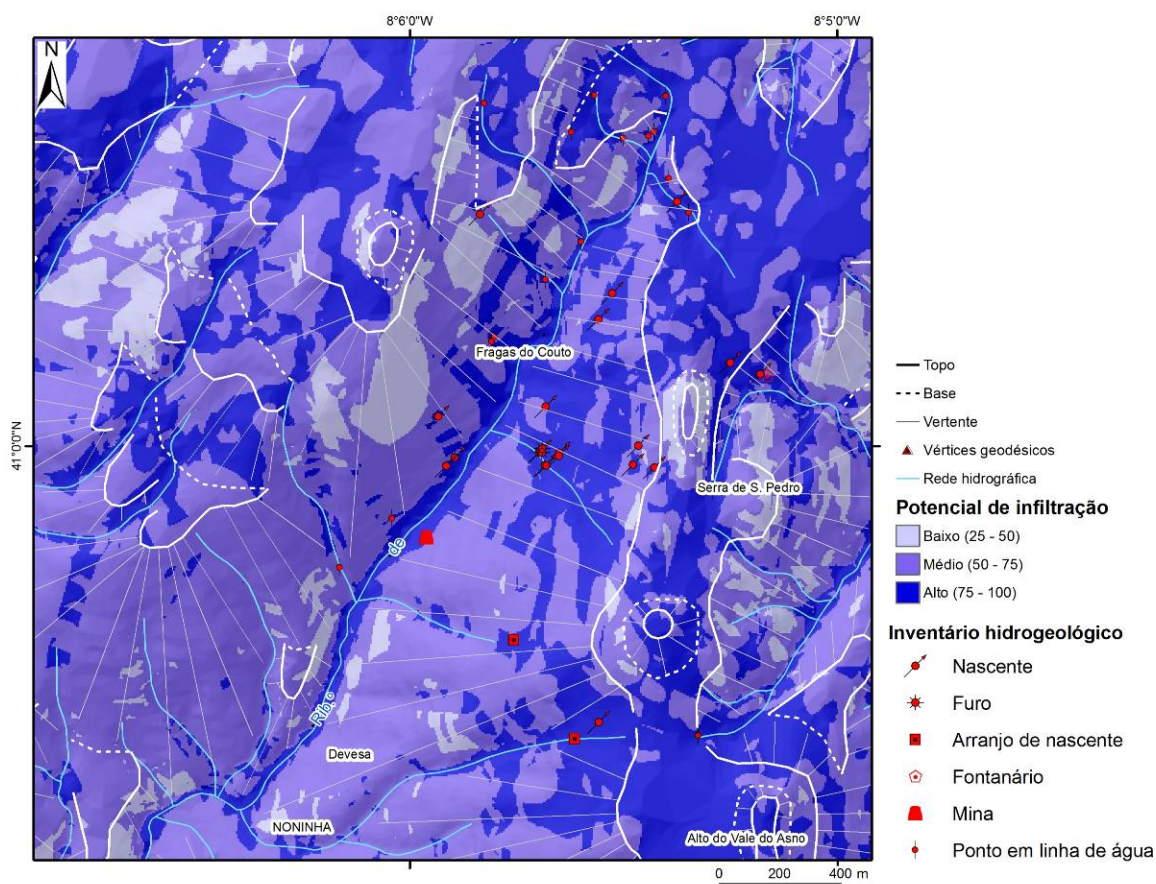


Figura 318 – Esboço hidrogeomorfológico e inventário hidrogeológico da área da Noninha.

A caracterização hidrogeomorfológica apresentada, bem como a integração de todos os dados numa base SIG, permitiram uma visão integradora dos recursos hídricos subterrâneos da área da Noninha, tendo-se verificado serem uma importante ferramenta no apoio à decisão quanto à exploração racional e sustentável desses mesmos recursos. Assim, apresentam-se seguidamente as principais características hidrogeomorfológicas, bem como o modelo conceptual de circulação das águas subterrâneas na área da Noninha.

O contexto geoestrutural da área em estudo é dominado por um conjunto de falhas e fracturação em grande que sugerem controlar as formas de relevo, bem como a ocorrência das principais nascentes de água da área. O principal sistema de fracturação ocorre segundo as direcções NNE-SSW a N-S. As direcções mais próximas de NNE-SSW traduzem-se geralmente por vales encaixados, sendo a Ribeira da Noninha o principal exemplo, sendo de destacar outros lineamentos importantes nesta direcção a SE e a NW da área de prospecção e pesquisa.

Quadro 68 - Factores e pesos específicos considerados nos diferentes cenários de cálculo do potencial de infiltração testados na área da Noninha.

Factores		Peso relativo		
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Litologia / Grau de alteração	Terraços, aluviões	20	20	25
	Corneanas pelíticas e quartzíticas	10	10	15
	Xistos mosqueados	5	5	5
	Quartzofilitos	10	10	15
	Granito são a pouco alterado	5	5	5
	Granito medianamente alterado a alterado	15	15	20
	Filões (Quartzo / aplito-pegmatito)	15	15	18
Densidade de lineamentos tectónicos	Alta (> 21/km <sup>2</sup> )	20	20	25
	Média (14-21/km <sup>2</sup> )	15	15	18
	Baixa (7-14/km <sup>2</sup> )	10	10	14
	Muito baixa (< 7/km <sup>2</sup> )	5	5	7
Ocupação do solo	Áreas urbanizadas	2	4	4
	Improdutivos / Afloramentos rochosos	5	7	7
	Floresta: Pinheiro Bravo, Eucalipto, Outras	15	20	18
	Terras aráveis, Culturas anuais	12	17	16
	Vegetação arbustiva	10	15	15
Densidade da rede de drenagem	Muito baixa (< 3/ km2)	15	10	5
	Baixa (3 - 6/ km2)	13	8	4
	Média (6 - 9/ km2)	10	6	3
	Alta (> 9/ km2)	8	4	2
Declives	Muito baixo (0° -5°)	20	25	25
	Baixo (5° - 15°)	15	20	20
	Médio (15° - 25°)	10	15	15
	Alto (> 25°)	5	10	10
Precipitação	2200 - 2400 mm/ano	10	5	2
	2000 - 2200 mm/ano	8	4	2
	1800 - 2000 mm/ano	6	3	1
	< 1800mm/ano	4	2	1

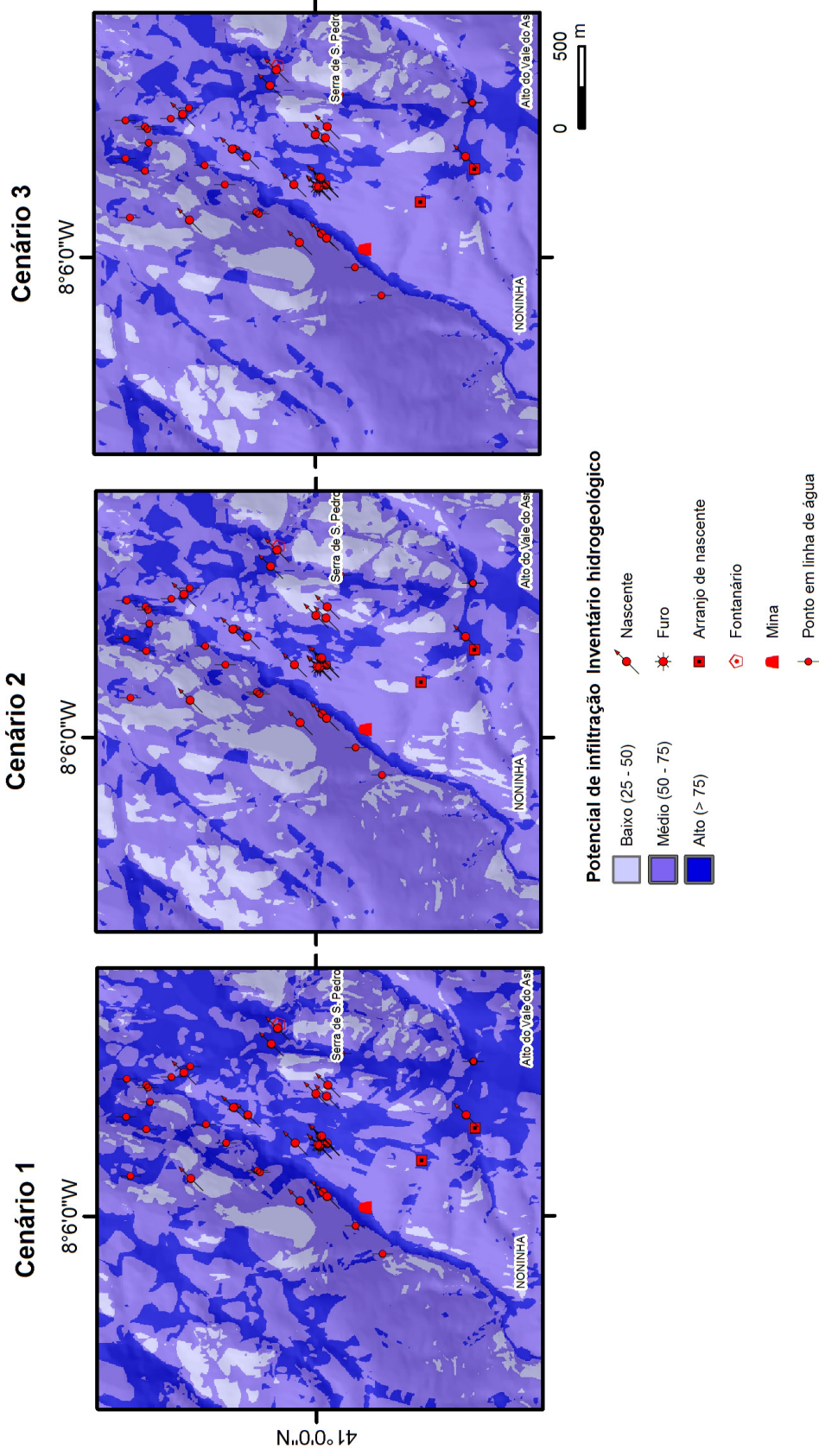


Figura 319 – Potencial de infiltração calculado para os diferentes cenários e inventário hidrogeológico da área da Noninha.



---

A Ribeira da Noninha, que materializa precisamente o principal lineamento tectónico da área em estudo, individualiza também dois blocos morfotectónicos distintos, colocando os seus topos a cotas diferentes: o alto da Pedra Posta a 1222 m e o topo da Serra de S. Pedro a 1155 m. As direcções mais próximas de N-S foram identificadas, sobretudo, na margem esquerda da Ribeira da Noninha, individualizando faixas de maior alteração das rochas graníticas, que, estando balizadas por faixas menos alteradas, correspondem a quebras de declive na própria vertente. Foi ainda identificado um sistema de fracturação secundário, conjugado do primeiro, e com direcção aproximada NW-SE. Corresponde a um sistema de fracturação mais discreto, materializado no terreno pelos vales de algumas ribeiras secundárias, afluentes da Ribeira da Noninha. Estas direcções assumem especial importância pois o seu cruzamento, constituindo nós tectónicos, com as fracturas de direcção NNE-SSW a N-S parece controlar as emergências de água subterrânea inventariadas.

Os levantamentos geológico-hidrogeotécnicos efectuados na área da Noninha permitiram identificar as discontinuidades que apresentam uma direcção preferencial, N10°-20°E, sub-vertical. A presença de água foi registada essencialmente nesta direcção de fracturação e, com menor expressão, na direcção N40°-50°E, também sub-vertical.

Em relação ao reservatório hidrogeológico, conforme já foi dito, as formações presentes na área são maioritariamente granitos. As estruturas filonianas ocorrentes, que nalguns sectores podem ser bastante numerosas, apresentam-se pouco possantes e, ao mesmo tempo, pouco contínuas. Assim, o seu comportamento como dreno e/ou como barreira hidrogeológica (sobretudo no caso dos filões aplito-pegmatíticos ou quártzicos) parece ser na área estudada de pequena relevância.

Os depósitos de vertente, e os escassos depósitos de fundo de vale, têm porosidade intersticial, são mal calibrados e pouco espessos. Estes deverão ter um coeficiente de armazenamento relativamente alto, quando comparado com o dos granitos, razão pela qual suportam pequenas emergências, geralmente perenes — embora com variabilidade sazonal apreciável — e contribuem para as condições de produtividade das formações subjacentes. A circulação de água nas rochas de porosidade fissural, como é o caso das formações graníticas, faz-se, preferencialmente, por discontinuidades: diaclases, falhas e contactos. A presença de filões, em particular de quartzo, é geralmente um factor de favorabilidade para a circulação de água subterrânea.

Uma secção vertical típica, provavelmente representativa do comportamento do maciço das rochas cristalinas da área, pode ser esquematizada como se segue (figura 320):

- i) *zona decomposta*, com espessuras máximas até 5 m, em que a estrutura da rocha está praticamente destruída e a permeabilidade é, predominantemente, do tipo intersticial;

- 
- ii) *zona alterada a muito alterada*, em que a estrutura da rocha está, parcialmente, preservada, claramente de permeabilidade mista, fissural e intersticial, com espessuras de 50 a 70 m, mas que pode alcançar maiores profundidades em zonas de intensa fracturação; e,
  - iii) *rocha sã*, com eventuais zonas fracturadas.

As condições hidrodinâmicas variam com a profundidade. Assim, a porosidade eficaz é relativamente alta nas zonas (i) e (ii), onde geralmente estão instalados aquíferos livres. Em profundidade, a rede de fracturação propicia condições de confinamento e, por isso, o coeficiente de armazenamento (parâmetro hidrodinâmico ligado ao armazenamento), decresce, estando normalmente correlacionado com a espessura total das zonas circuladas intra-maço. Nos alteritos o coeficiente de armazenamento será considerável, da ordem de 5% (Carvalho, 2006).

A condutividade hidráulica e a transmissividade são baixas no horizonte (i) e aumentam, até uma certa profundidade, na base do horizonte (ii) e em zonas fracturadas do horizonte (iii). Geralmente, as maiores condutividades hidráulicas são verificadas na passagem da rocha alterada à rocha sã e em zonas fortemente tectonizadas. Estima-se que os valores de condutividade hidráulica sejam da mesma ordem de magnitude dos propostos por Carvalho, 2006, a partir dos valores médios da transmissividade para furos de 100 m nos granitos do Maciço Antigo Português, isto é, de cerca de 0,017 m/dia. O comportamento hidrodinâmico dos diferentes níveis acima referidos será, portanto, claramente diferenciado do ponto de vista hidrodinâmico (transmissividades, condutividades hidráulicas e níveis).

Nos horizontes, atrás definidos na vertical, de um maciço cristalino pode generalizar-se o funcionamento hidráulico proposto da seguinte forma: (i) um subsistema livre, instalado nos alteritos, com transmissividade baixa e coeficiente de armazenamento apreciável; (ii) um subsistema semi-confinado, instalado a maior profundidade, com transmissividade elevada e baixo coeficiente de armazenamento (pormenores em Carvalho et al., 2003; Carvalho, 2006).

A superfície livre do subsistema superficial é próxima ao nível freático do aquífero profundo, podendo estar acima ou abaixo consoante a altitude relativa das zonas de recarga ou o período de recarga/descarga. A extracção de água do sistema profundo provoca uma influência espacial importante, deprime a piezometria e induz a drenância da água do subsistema superior para o inferior (figura 320).

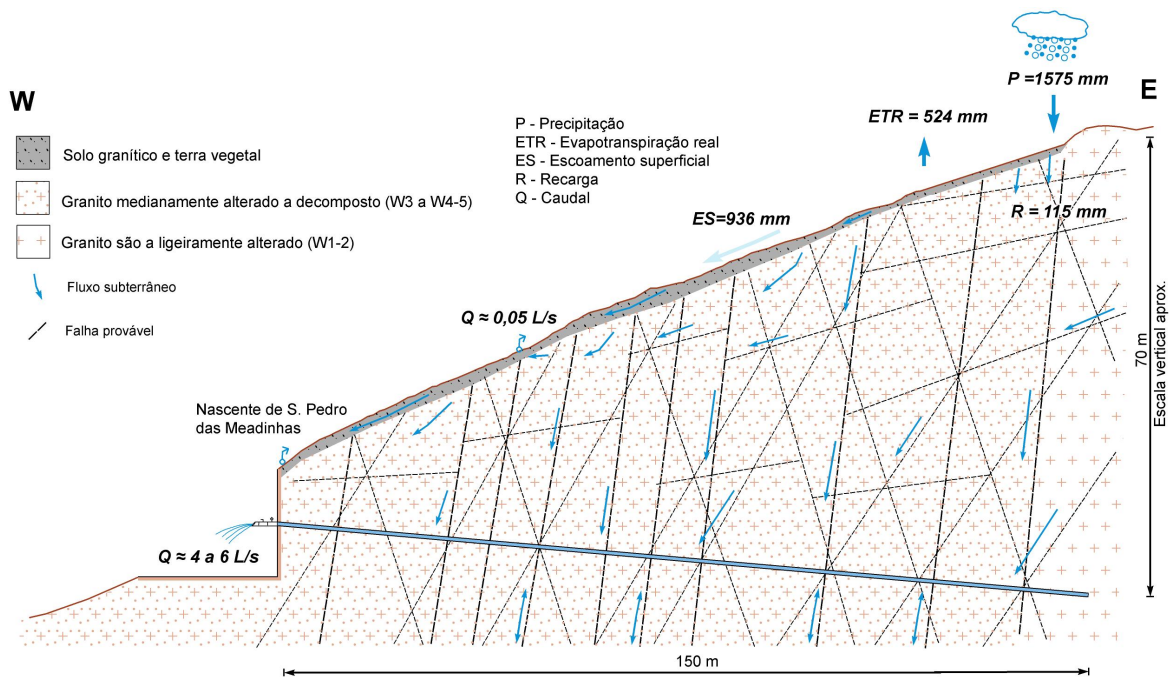


Figura 320 – Modelo hidrogeológico conceptual de pormenor da circulação de água na área da antiga nascente de S. Pedro das Meadinhos.

Os dados actualmente disponíveis permitem a conceptualização do seguinte modelo de circulação de água na área envolvente da nascente de S. Pedro das Meadinhos (figura 321):

- i) Recarga através águas meteóricas, na área delimitada, nos seus pontos mais altos, pela linha de cumeada que se estende a Este entre os pontos de cota 1155 e 1185 m onde os depósitos de vertente, funcionando como meio poroso, exercem um papel significativo na alimentação dos aquíferos subjacentes;
- ii) Circulação subterrânea a pequena profundidade (no máximo até 50 ou 70 m) ao longo das zonas decompostas, alteradas e fracturadas da rocha; circulação mais profunda ao longo dos eixos tectónicos principais com conectividade adequada;
- iii) Emergências, geralmente em encostas segundo os eixos de drenagem principais com um sentido orientado, aproximadamente, de Sul para Norte, e ocorrendo a cotas variáveis entre 860 e 1170 m, condicionadas por fracturação com direcção NNE-SSW a N-S e NW-SE.

Decorre deste modelo que a cotas diferentes, existem níveis produtivos não necessariamente ligados hidraulicamente na vertical. Estamos perante um modelo descontínuo mas com uma certa homogeneidade geohidráulica, ao nível do *Volume Representativo Elementar* (VRE), que não foi possível, ainda, caracterizar ao nível actual dos trabalhos.

Como conclusão poderá referir-se que se esperam na área da Noninha as seguintes condições:

- 
- i) A parte superficial é composta por depósito de vertente, com espessura variando entre 1 e 5 m, exercendo um papel significativo na alimentação dos aquíferos subjacentes;
  - ii) O maciço deverá incluir uma zona decomposta até cerca de 10 m, uma zona alterada a muito alterada até 30 ou mais de 100 m (nas falhas mais penetrativas as zonas alteradas poderão alcançar maiores profundidades) e rocha sã, com eventuais zonas fracturadas em profundidade;
  - iii) Na parte alterada do maciço estão instalados sistemas aquíferos livres com permeabilidade intersticial dominante. Nas zonas fracturadas, situadas em profundidade, ocorrerão zonas de circulação descontínua que podem ser equiparadas a aquíferos semi-confinados;
  - iv) A porosidade eficaz deverá ser da ordem de 5,5% no rególito e, eventualmente, em toda a zona decomposta. Em profundidade este parâmetro hidrodinâmico diminui à medida que aumenta o confinamento;
  - v) A condutividade hidráulica deverá ser superior a 0,1 m/dia na zona superficial, alterada. Por sua vez, em profundidade, e exceptuando zonas de falha que favoreçam o escoamento subterrâneo, a condutividade hidráulica é, geralmente, inferior a 0,01 m/dia;
  - vi) O nível freático, quando existe, acompanha a topografia e está praticamente à superfície;
  - vii) As águas inventariadas são de ciclo curto, hipossalinas, instaladas nos alteritos graníticos. A maior profundidade deverão ocorrer águas com maior tempo de permanência no reservatório, de mineralização mais elevada com previsível incremento dos iões bicarbonato, fluoreto e ferro.

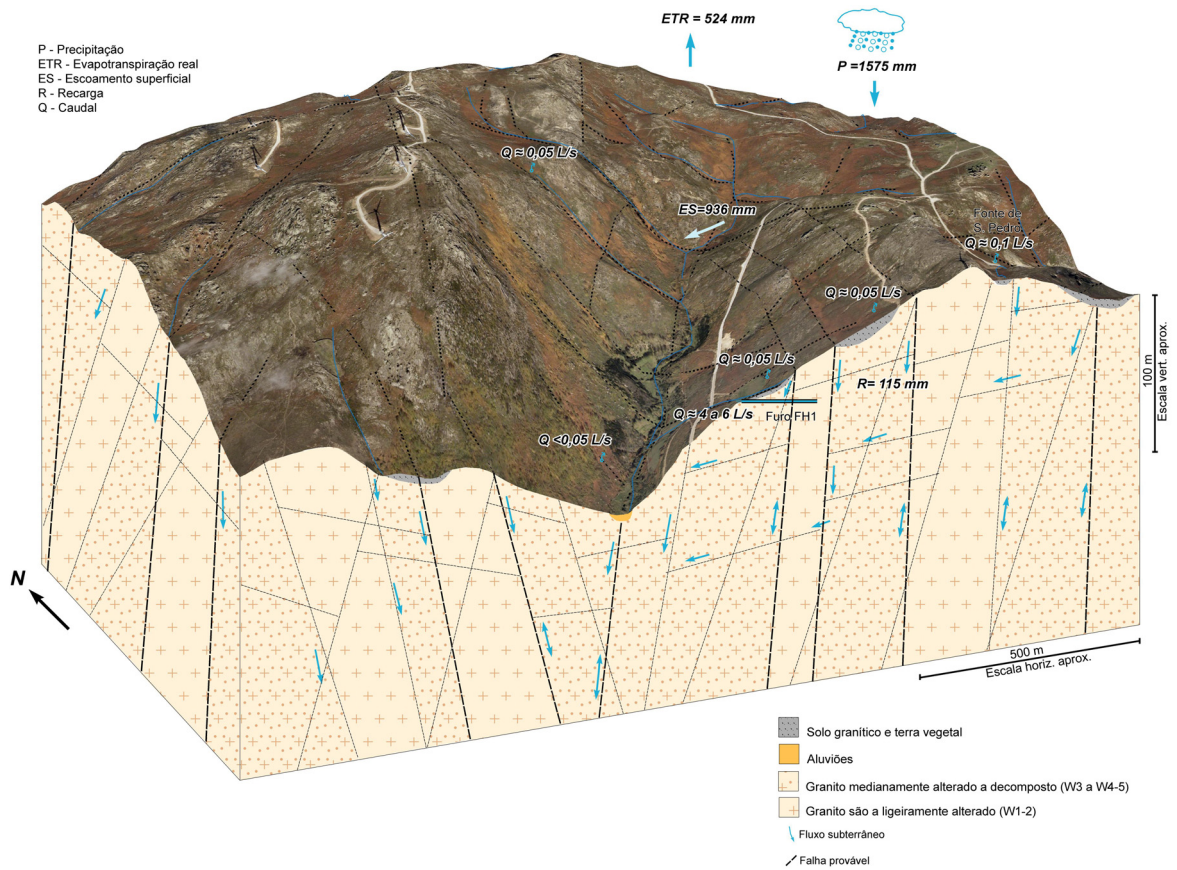


Figura 321 - Modelo hidrogeológico conceptual da área da nascente de S. Pedro das Meadinhhas (Serra de S. Pedro).

---

## **Modelo hidrogeológico conceptual da área de Entre-os-Rios**

Em Entre-os-Rios, através da cartografia hidrogeomorfológica apresentada anteriormente (capítulo 5.5), identificaram-se as principais áreas com elevado potencial de infiltração, localizadas sobretudo entre a povoação de Ameixede e o Balneário Termal. Esta área é delimitada a Sul pela Ribeira das Ardias, tornando-se cada vez mais expressiva à medida que o vale da Ribeira de Matos se torna mais amplo e aplanado. Para a delimitação desta área combinam-se favoravelmente os principais factores explicativos: heterogeneidade geológica em termos de litologia e grau de alteração (*i.e.*, cobertura sedimentar ou rochas graníticas alteradas a muito alteradas) e baixos declives (fundo de vale aplanado). As áreas de médio potencial de infiltração correspondem sobretudo a áreas de vertente, e estão relacionadas sobretudo com a presença de áreas graníticas menos alteradas e menos fracturadas, e em que os declives apresentam valores por vezes elevados. As áreas que apresentam potencial de infiltração muito reduzido decalcam, grosso modo, as áreas menos favoráveis em termos de ocupação do solo, estando por isso mais impermeabilizadas.

A sobreposição do mapa hidrogeomorfológico anteriormente apresentado com os pontos de água do inventário hidrogeológico de campo (figura 322) permitiu verificar que as emergências e captações de água normal de Entre-os-Rios ocorrem, regra geral, em áreas de elevado potencial de infiltração, ou em situações de transição para áreas de médio potencial de infiltração. De facto, verificou-se durante os trabalhos de campo que, essencialmente, o poço (com profundidades em geral inferiores a 10 m) é a captação mais comum, e a sua água é usada quer para fins agrícolas quer para uso doméstico. Assim, é habitual ocorrer mais de uma captação por cada proprietário ou terreno agrícola. Tal facto explica o grande número de poços inventariados, bem como a sua localização, essencialmente associada a áreas com ocupação humana ou a áreas agrícolas.

As águas minerais emergem ou são captadas em áreas com potencial de infiltração elevado. No entanto, o ciclo hidrogeológico longo e profundo associado a este tipo de águas leva-nos a crer que as respectivas áreas de recarga estarão localizadas em regiões mais afastadas e a cotas mais elevadas (provavelmente, a região do Alto da Cabeça Santa, Penafiel). No entanto, a localização das captações e emergências de água mineral nestas áreas, onde potencialmente existe maior circulação de águas normais leva à recomendação de um maior cuidado com as actividades desenvolvidas nas áreas de protecção destas emergências e captações, no sentido de preservar da contaminação a zona de descarga do aquífero hidromineral.

---

À semelhança dos sectores anteriores, foi também realizada a mesma abordagem complementar, na qual foram atribuídos novos valores máximos atribuídos a cada factor explicativo do potencial de infiltração. A síntese dos factores e dos pesos relativos são apresentados no quadro 69, e o resultado cartográfico apresentado na figura 323.

Assim, o cenário 1 apresenta-se como, possivelmente, o mais realista, atendendo à distribuição das áreas com diferente potencial de infiltração. Os cenários 2 e 3, onde se deu primazia aos factores litologia/grau de alteração, densidade de lineamentos tectónicos, ocupação do solo e declives, apresentam-se como mais conservativos. Apesar dos resultados obtidos nestas simulações não invalidarem as considerações referidas anteriormente, os resultados obtidos denotam muitas semelhanças entre si, e uma predominância das áreas com médio potencial de infiltração, face às quase inexistentes áreas de baixo ou alto potencial de infiltração.

Os resultados obtidos com os diferentes cenários apresentados, bem como os resultados apresentados nos sectores anteriores levam-nos a crer que o índice do potencial de infiltração é de aplicação mais limitada, sobretudo em cenários mais conservativos, em áreas com maior ocupação humana, e de declives mais baixos. É importante realçar também a importância de uma cartografia pormenorizada do grau de alteração do maciço rochoso no cálculo do potencial de infiltração, a qual ficou limitada na área de Entre-os-Rios pela ocupação humana mais intensa e pela falta de afloramentos que permitissem realizar o respectivo levantamento sistemático.

Estando toda a área envolvente das Termas de Entre-os-Rios situada em unidades graníticas com estruturas micrograníticas e, por vezes, filonianas quartzosas, importa assim referir os seguintes aspectos, em termos de modelo hidrogeológico conceptual:

- i) A litologia é composta por granitóides, sendo a litologia dominante granitos porfiróides de grão grosseiro e, por outra, subordinada de granodioritos/quartzodioritos de grão fino; afloram inúmeras estruturas de rochas micrograníticas e alguns filões de quartzo têm um papel determinante como armadilha hidrogeológica.
- ii) A estruturação do maciço apresenta-se, à escala local, dominada pelos três conjuntos de falhas e fracturas já referidos à escala regional, nomeadamente os sistemas N-S a NNE-SSW, NE-SW e NW-SE a WNW-ESE. A rede de drenagem apresenta, em regra, orientações coincidentes com as direcções principais dos lineamentos tectónicos.
- iii) Em afloramento, o granito apresenta-se, em algumas zonas, medianamente alterado a decomposto aflorando como manchas de alteritos saibro-argilosos; o grau de alteração e de fracturação do maciço granítico, a avaliar pelos registos de sondagens (A.Cavaco, 1990), não ultrapassará 15 m de profundidade.

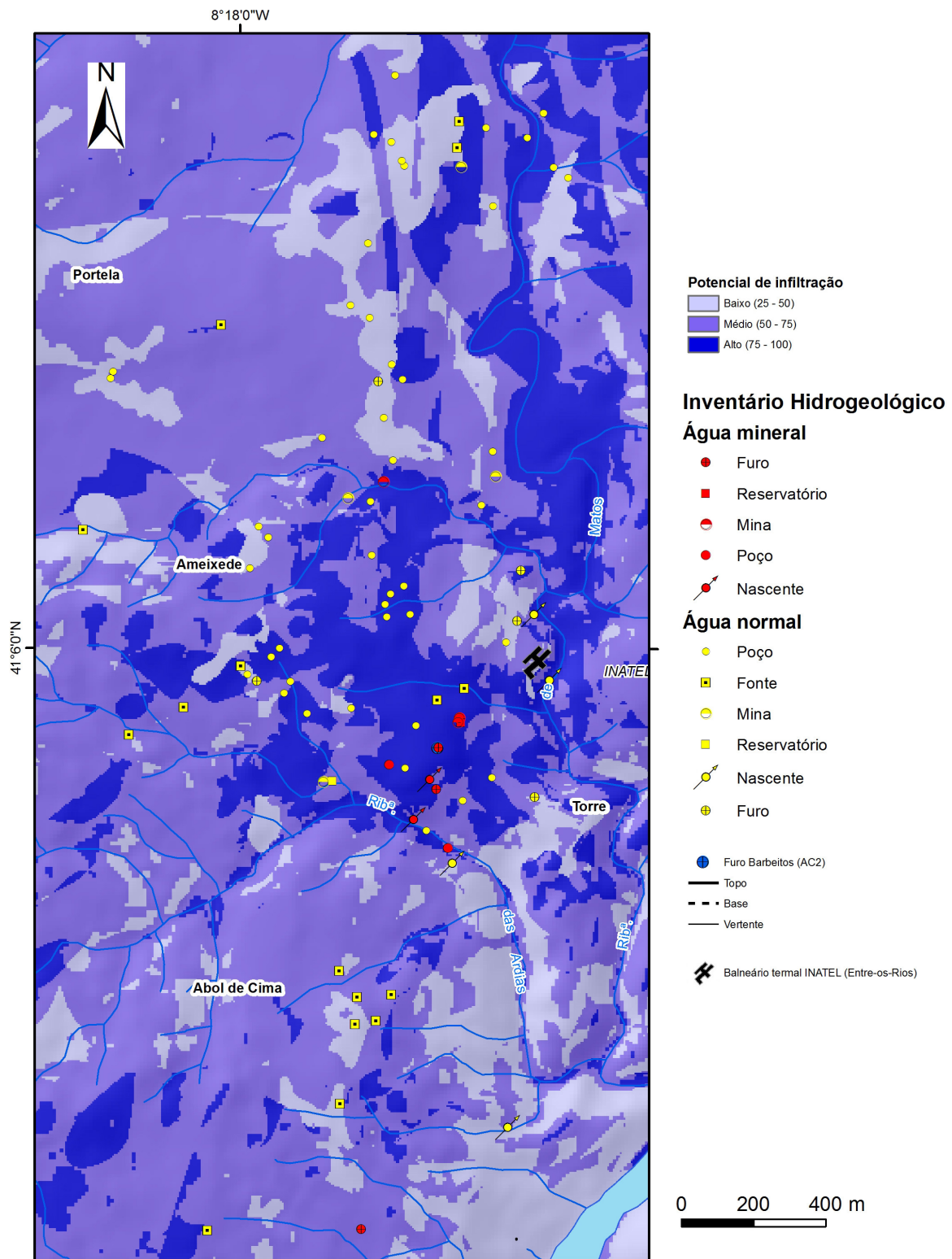


Figura 322 – Esboço hidrogeomorfológico e inventário hidrogeológico da área de Entre-os-Rios.



Quadro 69 - Factores e pesos específicos considerados nos diferentes cenários de cálculo do potencial de infiltração testados na área de Entre-os-Rios.

Factores		Peso relativo		
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Litologia / Grau de alteração	Terraços, aluviões	20	20	25
	Granodiorito, pouco alterado	5	5	5
	Granito porfiróide, de grão grosseiro, medianamente alterado	12	12	17
	Filões de microgranito	15	15	20
Densidade de lineamentos tectónicos	Alta (> 21/km <sup>2</sup> )	20	20	25
	Média (14-21/km <sup>2</sup> )	15	15	18
	Baixa (7-14/km <sup>2</sup> )	10	10	14
	Muito baixa (< 7/km <sup>2</sup> )	5	5	7
Ocupação do solo	Áreas urbanizadas	2	4	4
	Áreas florestais	15	20	18
	Áreas agrícolas, pomares e vinha	12	17	16
	Vegetação arbustiva	10	15	15
Densidade da rede de drenagem	Muito baixa (< 3/ km2)	15	10	5
	Baixa (3 - 6/ km2)	13	8	4
	Média(6 - 9/ km2)	10	6	3
	Alta(> 9/ km2)	8	4	2
Declives	Muito baixo (0° -5°)	20	25	25
	Baixo (5° - 15°)	15	20	20
	Médio (15° - 25°)	10	15	15
	Alto (> 25°)	5	10	10
Precipitação	> 1200 mm/ano	10	5	2
	1100 – 1200 mm/ano	8	4	2
	1000 – 1100 mm/ano	6	3	1
	< 1000 mm/ano	4	2	1

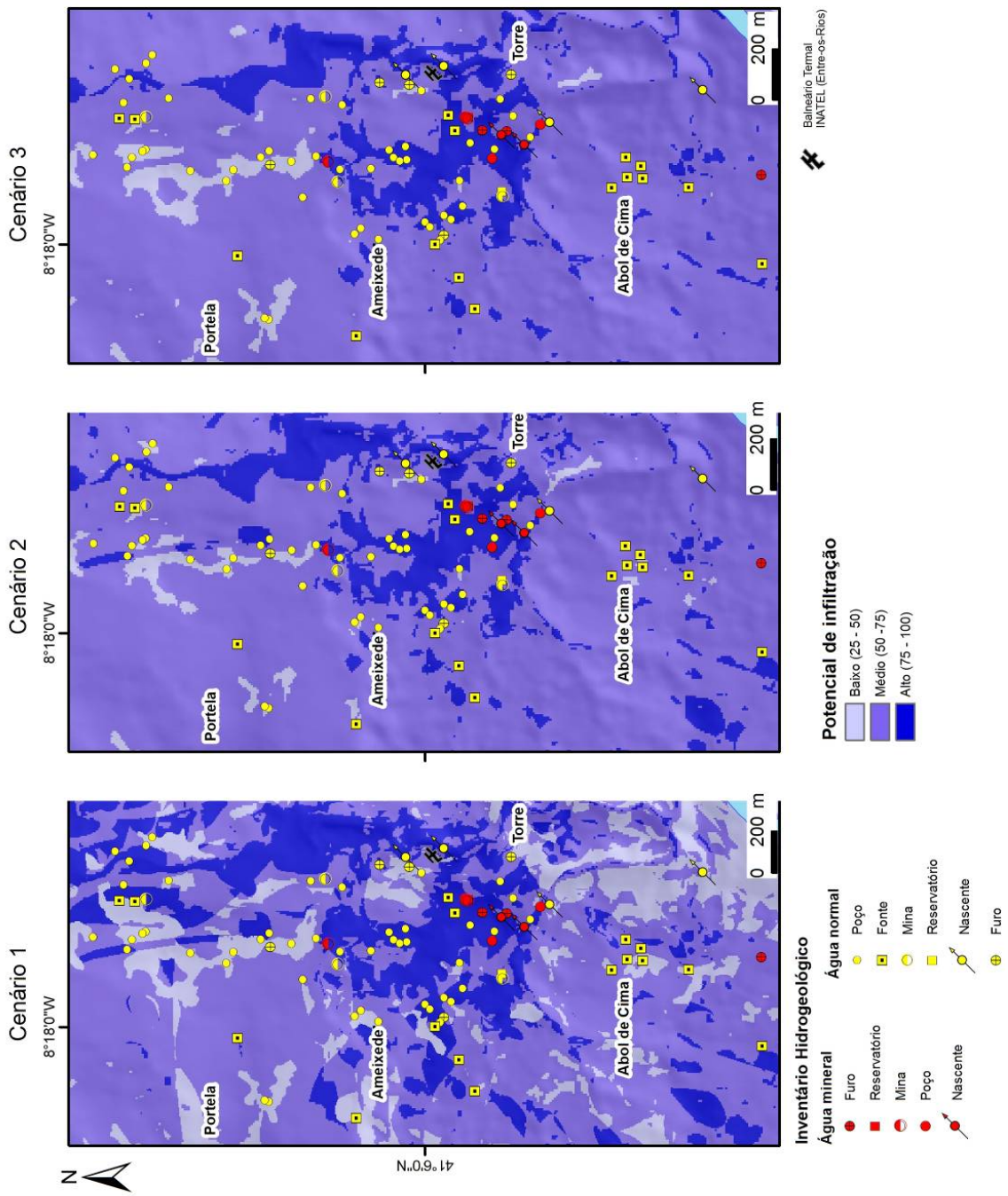


Figura 323 - Potencial de infiltração calculado para os diferentes cenários e inventário hidrogeológico da área de Entes-os-Rios.

---

A definição dos diferentes sistemas aquíferos na área de Entre-os-Rios conduziu à seguinte sistematização, apresentada no modelo conceptual da figura 324:

- i) Um *aquífero superficial*, livre, localizado na área superficial, muito alterada a decomposta, da rocha granítica e no solo residual granítico, que desempenhará um papel importante na recarga dos aquíferos que lhe estão subjacentes.
- ii) Um *aquífero livre a semi-confinado* com circulação de águas normais nas zonas alteradas e na maior parte das zonas fissuradas do granito; as águas deste aquífero têm um pH de 4,1 a 6 e condutividade eléctrica inferior a 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Os caudais são, regra geral, inferiores a 0,2 L/s. As águas normais da região caracterizam-se por terem mineralizações muito baixas, sendo fundamentalmente cloretadas sódicas.
- iii) Um *aquífero mineral confinado*, localizado em profundidade, excepto no local da emergência, junto às captações, condicionado por uma zona de fraqueza estrutural em profundidade. O furo de água mineral (Barbeitos) está localizado no granito porfiróide de grão grosseiro, próximo a um contacto com a unidade hidrogeológica dos granodioritos, atingindo uma profundidade máxima de 114 m na rocha granítica, com um caudal de exploração de 2,5 L/s. Nas restantes emergências de água mineral os caudais não ultrapassam os 0,1 L/s. A água extraída no furo de Barbeitos apresenta uma temperatura baixa, que ronda os 22°C, sendo da ordem dos 17 a 18°C nas restantes emergências (Nascentes dos Arcos e Mina da Curveira). O pH varia entre 8 e 9, e as condutividades eléctricas entre 650 e 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . As águas minerais de Entre-os-Rios caracterizam-se por serem hipotermiais, fracamente mineralizadas, com reacção alcalina, sulfídricas, bicarbonatadas sódicas, carbonatadas, muito fluoretadas.

As nascentes clássicas (Torre, Arcos, Curveira e Ardias) parecem estar na dependência dos contactos litológicos entre o granito porfiróide de grão grosseiro e os granodioritos/quartzodioritos de grão fino. Além disso, as estruturas das rochas micrograníticas parecem condicionar, igualmente, algumas das emergências (em especial, Curveira e Ardias).

A conjugação das evidências geológicas e morfotectónicas (em especial, contactos litológicos tectonizados, convergência de sistemas de fracturação, controlo morfoestrutural) permite-nos inferir a existência de nós tectónicos que poderão constituir boas armadilhas hidrogeológicas, das quais resultam as actuais captações e emergências naturais de água mineral na área das Termas de Entre-os-Rios.

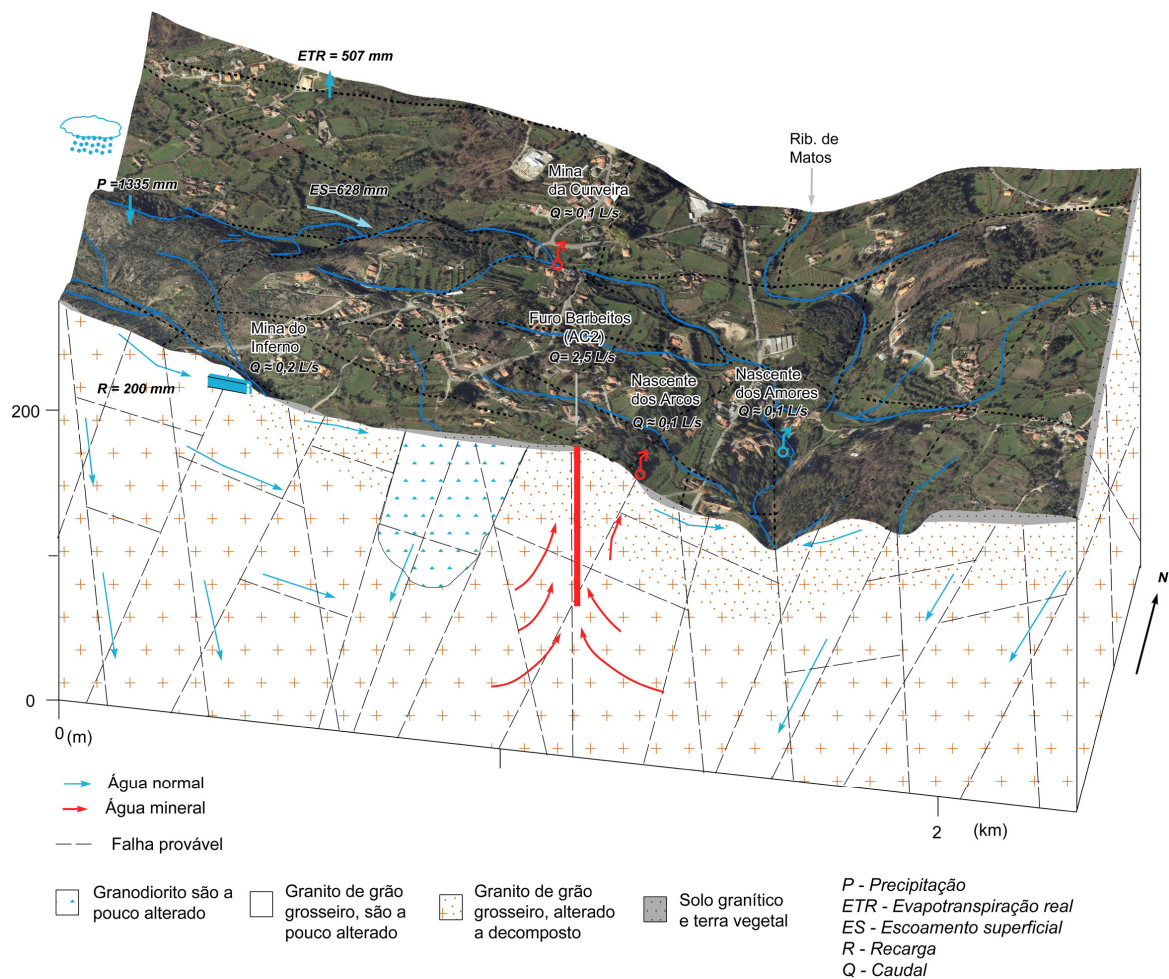


Figura 324 - Modelo hidrogeológico conceptual da área de Entre-os-Rios.

## Modelo hidrogeológico conceptual da área do Alardo

No Alardo (Castelo Novo, Fundão), como se verificou no capítulo anterior (5.6.), foram identificadas as áreas com maior potencial de infiltração, que resultam da combinação favorável dos factores principais: litologia (rochas graníticas alteradas) e declives baixos (fundo de vale aplanado). As áreas de médio potencial de infiltração correspondem sobretudo a áreas de vertente, e estão relacionadas sobretudo com a presença de áreas graníticas menos alteradas e menos fracturadas, e em que os declives apresentam valores por vezes muito elevados. As áreas que apresentam potencial de infiltração muito reduzido estão distribuídas de forma mais ou menos aleatória pela área do mapa, mas concentram-se, sobretudo, nas áreas menos favoráveis em termos de ocupação do solo, i.e., as áreas impermeabilizadas e as áreas de afloramentos rochosos.

O cruzamento do mapa hidrogeomorfológico apresentado com os pontos de água do inventário hidrogeológico (figura 325) possibilita uma visão integradora da geomorfologia, do potencial de infiltração e das emergências e captações de água.

Ressalta claramente da análise do mapa que, salvo raras exceções, as nascentes e captações de água estão localizadas nas áreas com potencial de infiltração mais elevado. Atendendo ao tipo de águas da área do Alardo e ao facto de que estas têm um tempo de circulação e residência relativamente curto, estas áreas serão de importância acrescida na definição dos perímetros de protecção das captações das Águas do Alardo.

Relativamente aos diferentes cenários relativamente ao cálculo do potencial de infiltração na área do Alardo, estes foram efectuados, tendo em perspectiva uma abordagem mais conservativa, em que nos cenários 2 e 3 se deu primazia aos factores litologia e estrutura/grau de alteração, densidade de lineamentos tectónicos, ocupação do solo e declives (quadro 70 e Figura 326).

À semelhança dos sectores anteriores, os cenários mais conservativos não invalidam as considerações já tecidas acerca da localização das emergências e captações de água na área do Alardo. Verificou-se, portanto, que o maior peso dos factores litologia/grau de alteração, densidade de lineamentos e declives serão os maiores condicionadores do potencial de infiltração na área do Alardo, o que comprova a aplicabilidade da abordagem realizada na área montanhosa da Serra da Gardunha.

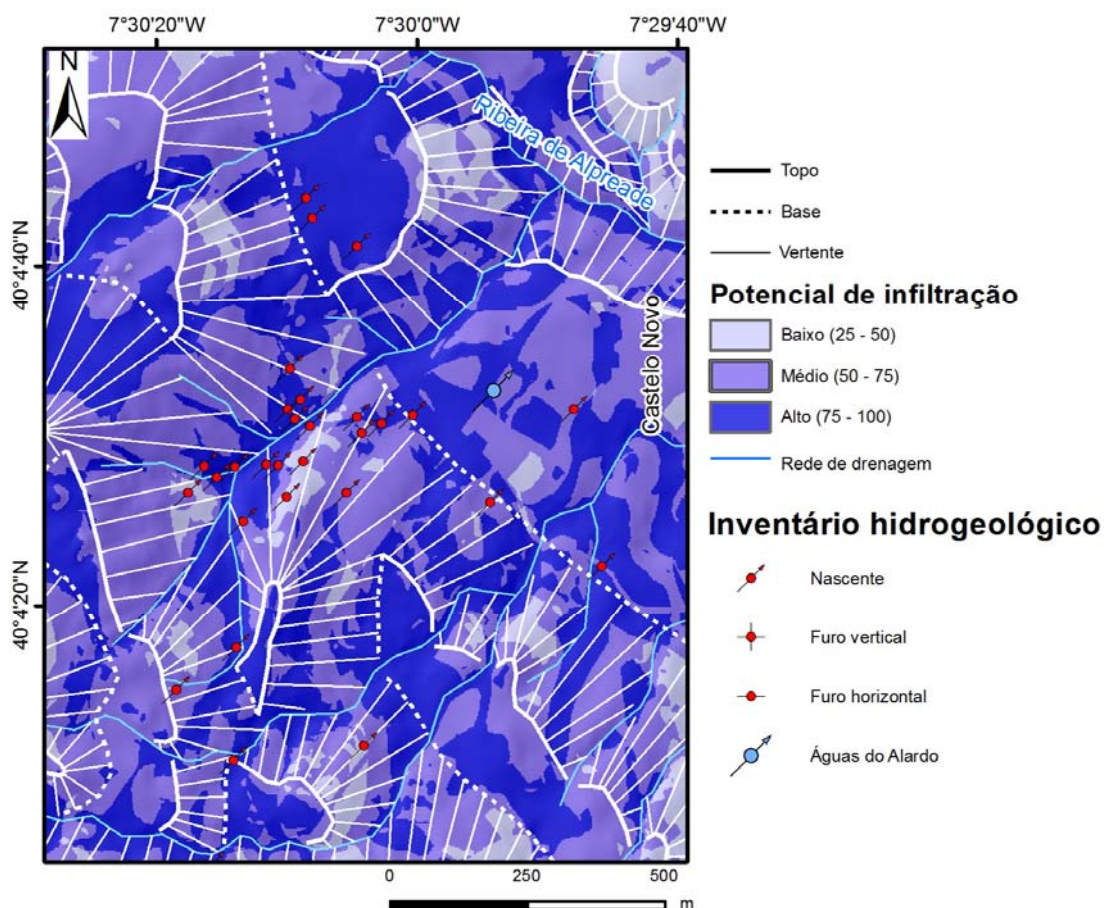


Figura 325 - Esboço hidrogeomorfológico de pormenor e inventário hidrogeológico da área do Alardo.

Quadro 70 - Factores e pesos específicos considerados nos diferentes cenários de cálculo do potencial de infiltração testados na área do Alardo.

Factores		Peso		
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Litologia / Grau de alteração	Granito de grão grosseiro, são a ligeiramente alterado ( $W_{1-2}$ )	7	7	10
	Granito de grão grosseiro, medianamente alterado ( $W_3$ )	15	15	20
	Granito de grão grosseiro, muito alterado alterado ( $W_{4-5}$ )	20	20	25
	Filões de quartzo	15	15	20
Densidade de lineamentos tectónicos	Alta ( $> 21/\text{km}^2$ )	20	20	25
	Média ( $14-21/\text{km}^2$ )	15	15	18
	Baixa ( $7-14/\text{km}^2$ )	10	10	14
	Muito baixa ( $< 7/\text{km}^2$ )	5	5	7
Ocupação do solo	Áreas urbanizadas/Zonas industriais / estradas	2	4	4
	Afloramentos rochosos	5	7	7
	Floresta: Pinheiro Bravo, Eucalipto, Outras Folhosas	15	20	20
	Agricultura (sequeiro)	12	17	17
	Vegetação arbustiva	10	15	15
Densidade da rede de drenagem	Muito baixa ( $< 3/\text{km}^2$ )	15	10	5
	Baixa ( $3 - 6/\text{km}^2$ )	13	8	4
	Média( $6 - 9/\text{km}^2$ )	10	6	3
	Alta( $> 9/\text{km}^2$ )	8	4	2
Declives	Muito baixo ( $0^\circ - 5^\circ$ )	20	25	25
	Baixo ( $5^\circ - 15^\circ$ )	15	20	20
	Médio ( $15^\circ - 25^\circ$ )	10	15	15
	Alto ( $> 25^\circ$ )	5	10	10
Precipitação	$> 1200$ mm/ano	10	5	2
	1100 – 1200 mm/ano	8	4	2
	1000 – 1100 mm/ano	6	3	1
	$< 1000$ mm/ano	4	2	1

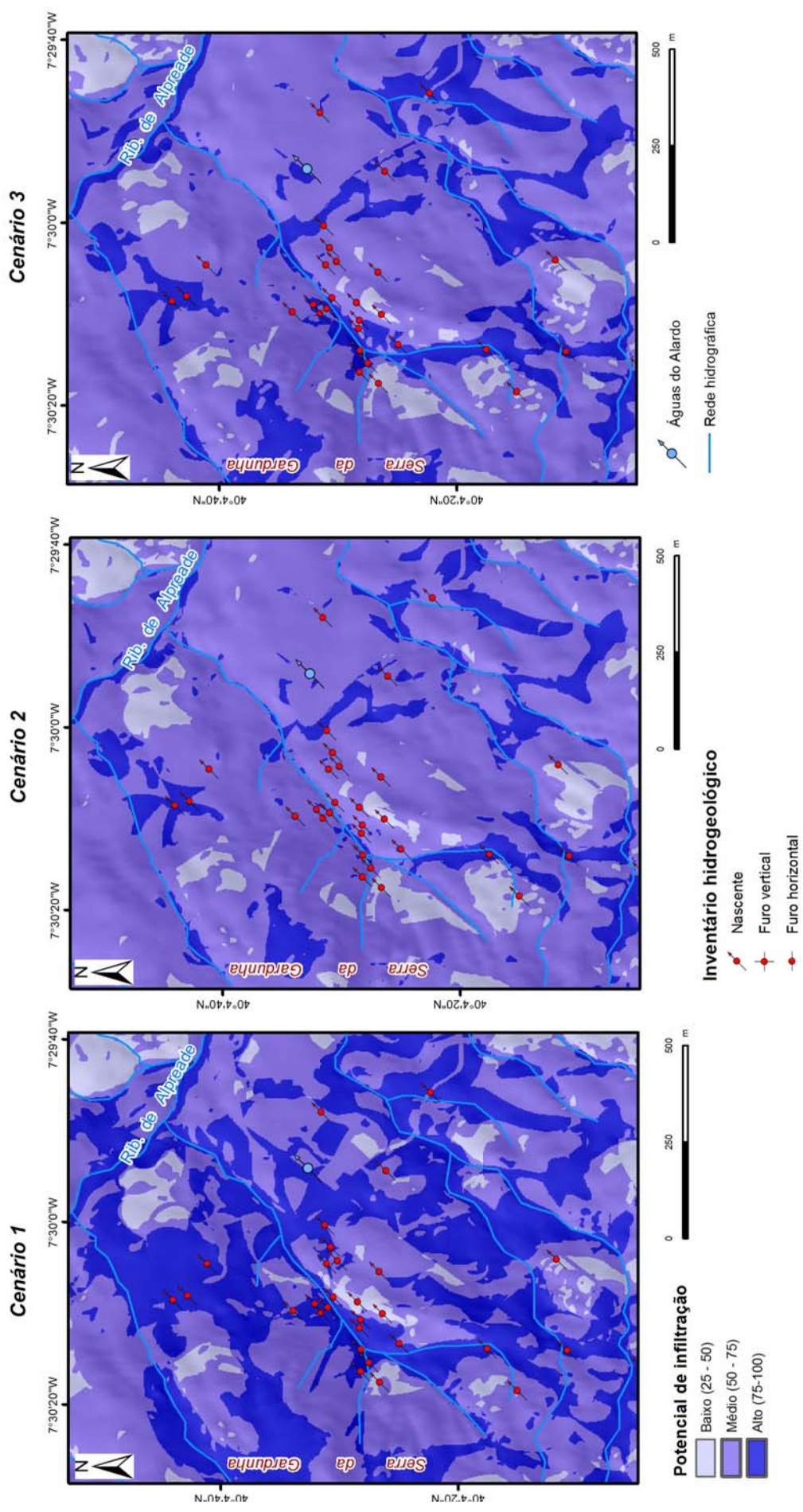


Figura 326 - Potencial de infiltração calculado para os diferentes cenários e inventário hidrogeológico da área do Alardo.

---

O aquífero hidromineral do Alardo corresponde a um conjunto de subsistemas descontínuos, semi-confinado instalados na zona alterada e fracturada superior de granitos. Estes subsistemas são de ciclo hidrológico curto e a recarga é feita na área a Oeste e a Sul das captações actuais, nas vertentes e em zonas aplanadas da Serra da Gardunha.

O inventário hidrogeológico realizado permitiu identificar 15 pontos de água com: (i) condutividade eléctrica média da ordem de  $16\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ; e (ii) temperatura média de  $15,6^{\circ}\text{C}$ , o que mostra que a circulação hídrica subterrânea é predominantemente realizada na zona superficial do maciço.

Não se exclui, todavia, que possa existir circulação significativa a maiores profundidades, circunstância denunciada pela ocorrência de blocos graníticos são a medianamente alterados e de estruturas materializadas por filões de quartzo, implicando uma fracturação, provavelmente activa para a circulação hídrica subterrânea.

Estando toda a área situada em unidades graníticas com estruturas filonianas quartzosas, importará realçar os seguintes aspectos (figura 327):

- a litologia é monótona dentro do padrão granito de grão médio a grosseiro; alguns filões de quartzo brechificados têm um papel determinante como armadilha hidrogeológica;
- a fracturação parece relativamente regular, com orientações dos quadrantes N-S a NE-NW, NNW-SSE a NW-SE e E-W;
- em afloramento, o granito apresenta-se, em algumas zonas, medianamente alterado a decomposto aflorando como manchas de alteritos saibro-argilosos; o grau de alteração e de fracturação do maciço granítico, a avaliar pelos registos de sondagens (GeoAmbiente, 1992; Fundágua, 1994), não ultrapassará 40 a 60 m de profundidade;
- o declive da vertente da Serra da Gardunha onde estão instaladas as captações Alardo é da ordem de 31%, alcançando, por vezes, 49%;
- as condições de relevo e a capacidade de campo das formações geológicas da área determinam escoamentos subterrâneos com grande variabilidade sazonal. A recarga foi avaliada, conservativamente, em cerca de 112 mm, i.e.,  $1,3\text{ L/s}\cdot\text{km}^2$ ;
- O aquífero hidromineral do Alardo corresponde, actualmente, a um conjunto de subsistemas descontínuos, semi-confinados instalados na zona alterada e fracturada superior de granitos, sendo este sistema de ciclo hidrológico curto;
- O modelo conceptual do aquífero inclui assim um conjunto de sub-sistemas descontínuos, semi-confinados com os parâmetros hidrodinâmicos seguintes determinados a partir de uma extensa campanha de ensaios de caudal (Ratinho,



1999; Carvalho, 2006): (i) Transmissividade (T) de 0,3 a 16 m<sup>2</sup>/dia para furos até uma profundidade de 60 m, e, (ii) Gradiente hidráulico: 0,12 para NNE. A ausência de registos de medições de influências entre as várias captações não permitiram a determinação do Coeficiente de Armazenamento.

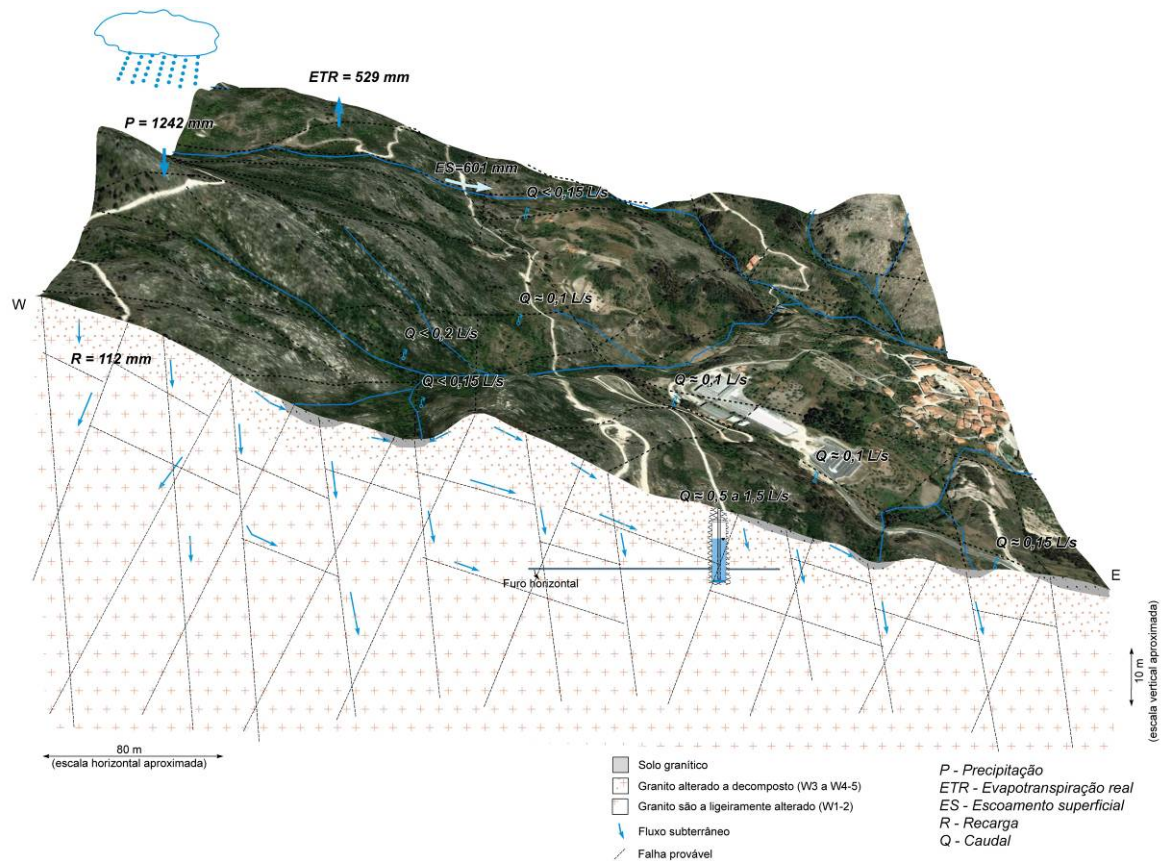


Figura 327 -Modelo hidrogeológico conceptual da área do Alardo.

### 6.3. Potencial de Infiltração: um índice geomorfológico para a definição das áreas das armadilhas hidrogeológicas?

A elaboração do esboço hidrogeomorfológico integrador donde se destaca o designado potencial de infiltração (na literatura anglo-saxónica é indistinto o uso dos termos “infiltration potential” e “groundwater potential”; e.g., Greenbaum, 1985; Krishnamurthy et al., 1996; Srinivasa Rao et al., 1997; Edet et al., 1998; Babar, 2001; 2002a,b; Jaiswal et al., 2003; Sener et al., 2005; Shaban et al., 2006; Jha et al., 2007; Yeh et al., 2009 — na nossa opinião ambos os termos não são sinónimos, já que o termo potencial de infiltração (Fetter, 2001) é mais abrangente e determina toda a água que entra e circula no subsolo). Logo, a abordagem integrativa permitiu cartografar áreas com diferentes

---

potenciais de infiltração com desenvolvimento em profundidade, pela conjugação de vários factores (ver capítulos 3 e 5) e posteriormente elaborar o cruzamento exaustivo com o inventário hidrogeológico (em especial, nascentes, minas de água e poços) ou seja os pontos de descarga natural dos sistemas aquíferos, e verificar uma flagrante associação entre estes e as áreas de máxima infiltração ou no limite com infiltração média. Com efeito, esta abordagem permitiu assim definir os potenciais “hidro-blocos” em termos de infiltração que constituem, no nosso entender, armadilhas hidrogeológicas (Carvalho, 2006; Carvalho et al., 2007) com vista ao potencial geohidráulico subterrâneo, especialmente das águas de circulação mais superficial e de uma importância capital na prospecção e pesquisa de águas subterrâneas. Por isso, não se deverá confundir o “potencial de infiltração” com “áreas de recarga” dos aquíferos.

As potentes ferramentas disponibilizadas pelos SIG, e amplamente usadas neste estudo, revelaram-se muito úteis no concretizar da tarefa de cruzamento e síntese da imensa quantidade de dados disponíveis sobre as áreas, permitindo, de forma rápida e eficaz, a produção de documentos cartográficos que se revelam cada vez mais, como instrumentos importantes no âmbito da gestão do recurso, identificando claramente as áreas onde preferencialmente ocorrem os fenómenos de infiltração, circulação e descarga de águas subterrâneas de uma determinada área.

Assim, identificaram-se como principais factores influentes no cálculo do potencial de infiltração as áreas graníticas muito alteradas e as formações aluvionares, as áreas de densidade de lineamentos tectónicos mais elevada, as áreas agrícolas e florestais, bem como as áreas de declives baixos, nomeadamente as áreas planálticas. A densidade da rede hidrográfica e a variação espacial da precipitação nas áreas de estudo consideradas aparentam uma menor importância como factores explicativos das áreas com maior potencial de infiltração. A tabela 71 sintetiza os principais factores, bem como apresenta a proposta de pesos relativos para cada um dos parâmetros que os compõem, num intervalo de variação que deverá ser adaptado em caso de aplicação do índice a outras áreas. A aplicação do método de cálculo a outras escalas de maior abrangência que as que foram apresentadas nos diferentes casos de estudo deverá também ser alvo das necessárias adaptações e validações, relativamente aos pesos relativos de cada factor explicativo do potencial de infiltração.

Quadro 71 – Proposta de factores e pesos específicos na avaliação do potencial de infiltração.

Factores		Proposta de peso relativo
Litologia / Estrutura / Grau de alteração	Terraços, aluviões	20 - 25
	Corneanas pelíticas e quartzíticas, fracturadas, $W_{1-2}$	10 - 15
	Xistos mosqueados, freacturados, $W_{1-2}$ a $W_3$	5 - 10
	Quartzofilitos, fracturados, $W_{1-2}$	15 - 20
	Granito são a ligeiramente alterado ( $W_{1-2}$ )	5 - 10
	Granito medianamente alterado ( $W_3$ )	15 - 20
	Granito muito alterado alterado ( $W_{4-5}$ )	20 - 25
	Filões (quartzo / aplito-pegmatito)	15 - 18
	Microgranito, $W_{1-2}$	15 - 20
Densidade de lineamentos tectónicos	Alta (> 21/km <sup>2</sup> )	20 - 25
	Média (14-21/km <sup>2</sup> )	15 - 20
	Baixa (7-14/km <sup>2</sup> )	10 - 15
	Muito baixa (< 7/km <sup>2</sup> )	5 - 7
Ocupação do solo	Áreas urbanizadas/zonas industriais / estradas	2 - 4
	Afloramentos rochosos	5 - 7
	Floresta: Pinheiro Bravo, Eucalipto, Outras Folhosas	15 - 20
	Áreas agrícolas: culturas anuais, pomares, vinha	12 - 17
	Vegetação arbustiva	10 - 15
Densidade da rede de drenagem	Alta(> 9/ km <sup>2</sup> )	2 - 8
	Média(6 - 9/ km <sup>2</sup> )	3 - 10
	Baixa (3 - 6/ km <sup>2</sup> )	4 - 13
	Muito baixa (< 3/ km <sup>2</sup> )	5 - 15
Declives	Alto (> 25°)	5 - 10
	Médio (15° - 25°)	10 - 15
	Baixo (5° - 15°)	15 - 20
	Muito baixo (0° -5°)	20 - 25
Precipitação	Muito alta a alta	2 - 10
	Alta	2 - 8
	Média	1 - 6
	Baixa a muito baixa	1 - 4

A síntese das feições hidrogeomorfológicas favoráveis à recarga ou descarga dos aquíferos, sintetizada no quadro 72, foi um auxiliar precioso no refinamento dos modelos hidrogeológicos conceptuais dos pólos de estudo, conjuntamente com o cruzamento dos dados anteriormente apresentados. Assim, em termos de recarga identificaram-se como factores principais a rocha granítica alterada a muito alterada (arenizada), com fracturação próxima a muito próxima, bem como as áreas aplanadas do topo das elevações e as áreas agrícolas (especialmente de regadio) e as áreas florestais.

No que diz respeito à descarga, esta poderá estar também associada às áreas de rocha sã, sempre que esta se encontrar fracturada, e as áreas mais promissoras estarão também associadas às áreas morfológicamente deprimidas, nomeadamente os fundos de vale.

As áreas de densidade de fracturação mais elevada (à escala cartográfica), bem como as áreas de fracturação mais próxima (à escala do maciço rochoso) constituem potenciais locais de circulação de água subterrânea, pelo que são factores de favorabilidade quer na recarga quer na descarga dos aquíferos.

Quadro 72 – Síntese dos principais factores com influência na recarga / descarga, identificados nos sectores de estudo.

Parâmetros	Recarga	Descarga
Grau de alteração do maciço rochoso		
São a medianamente alterado ( $W_{1-2}$ to $W_3$ )	-	+
Muito alterado a arenizado ( $W_{4-5}$ )	+	+
Fracturação		
Muito afastada a afastada ( $F_{1-2}$ )	-	-
Medianamente afastada a muito próxima ( $F_3$ to $F_{4-5}$ )	+	+
Lineamentos tectónicos	+	+
Topografia / declives		
Topo aplanado	+	-
Fundo de vale	-	+
Vertente convexa/rectilínea	-	-
Uso do solo		
Áreas florestais e agrícolas	+	*

+ – Influência positiva; - – influência negativa; \* – influência reduzida ou nula

Ao nível hidrogeológico, mostra-se que é fundamental para uma operação de desenvolvimento de recursos hídricos subterrâneos a integração coerente de todos os elementos geológicos obtidos a distintas escalas, como dados de geologia e geomorfologia regionais, de fotogeologia e detecção remota, de tectónica, e do estudo da compartimentação do maciço em termos do grau de fracturação/resistência e de alteração (estudo geológico-hidrogeotécnico). Deve-se, na medida do possível, cruzar e

---

sintetizar toda esta informação a escala(s) conveniente(s) e, assim, representá-la em mapas temáticos georreferenciados, se possível sobrepostos, para se executar uma análise comparada dos resultados (Carvalho et al., 2007; Teixeira et al., 2009b).

Os estudos cartográficos realizados permitem ainda identificar, de uma forma mais concreta, áreas prioritárias para a realização de estudos complementares, nomeadamente para a utilização de traçadores naturais ou análises isotópicas, podendo contribuir também para uma eventual reavaliação e redefinição das áreas de protecção das captações de água mineral, ou de outras captações de água normal, importantes para o abastecimento das populações da área.

Os modelos conceptuais ora elaborados, com o conhecimento acrescido sobre a natureza e funcionamento dos aquíferos abrangidos aportados pela abordagem hidrogeomorfológica apresentada, apresentam uma maior robustez e realismo. A elaboração de bons modelos conceptuais permitirá, em estudos avançados, melhores resultados, podendo ser realizados com menor consumo de recursos e, por certo, apoiará decisivamente os modelos matemáticos subsequentes e mesmo rectro-análises aos sistemas aquíferos.

A modelação conceptual dos sistemas hidrogeológicos apresentados beneficiou assim desta abordagem multidisciplinar, a qual permitiu ter em consideração a sua elevada complexidade. Assim, os modelos conceptuais procuraram ter em conta a diversidade hidrogeológica da região, manifestada pela ocorrência de diversos tipos de aquíferos e de águas subterrâneas. Estes permitirão o avanço das investigações com uma base mais sólida, nomeadamente a realização de outras tarefas envolvidas na investigação, tais como, por exemplo, para melhorar a escolha e a aplicação dos restantes tipos de modelação ou a recolha de novos dados (e.g., análises isotópicas, traçadores hidrogeoquímicos,...).

Espera-se também que os modelos elaborados venham a ser úteis para a tomada de decisões sobre a gestão dos recursos hídricos das áreas geográficas apresentadas, nomeadamente quanto ao planeamento das investigações hidrogeológicas, à hierarquização das potenciais áreas de contaminação, à redução do custo dos estudos mais avançados, à definição das áreas de protecção de captações, bem como um acompanhamento da gestão do próprio georrecurso de uma forma sustentável.



---

## **7. Conclusões e perspectivas futuras**





---

## 7. Conclusões e perspectivas futuras

Ao nível hidrogeológico ficou demonstrada a importância dos estudos multidisciplinares nas operações de de prospecção, ordenamento e gestão de recursos hídricos subterrâneos. Nesse sentido, é frequentemente atribuído à geomorfologia, especialmente à geomorfologia estrutural e à geomorfologia aplicada, um papel fundamental em estudos de prospecção hidrogeológica (e.g. Tricart, 1962; 1963; 1978; Tricart et al., 1965; Higgins & Coates, 1990; Bisson & Lehr, 2004; Carvalho & Chaminé, 2004; Babar, 2005; Carvalho et al., 2005a; Carvalho, 2006; Teixeira et al., 2010a) indicando que feições geomorfológicas que condicionam a recarga/descarga dos aquíferos quer estruturas geológicas que podem condicionar a circulação de água subterrânea.

As novas ferramentas disponibilizadas pelos SIG revelam-se assim muito úteis no concretizar desta tarefa, permitindo, de forma rápida e eficaz, o cruzamento e a síntese dos dados recolhidos, e a produção de documentos cartográficos que se revelam ser, cada vez mais, instrumentos importantes no âmbito da gestão dos recursos hídricos. Os mapas temáticos produzidos pela aplicação desta metodologia de cruzamento de dados espaciais e análise multicritério em ambiente SIG, são um suporte importante no apoio à decisão por entidades responsáveis pela gestão dos recursos hídricos subterrâneos, incluindo os recursos hidrominerais. Esta interligação entre as características climatológicas, geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de cada pólo de estudo constituíram uma ferramenta importante e eficiente na elaboração e refinamento dos modelos conceptuais de circulação das águas (sub)superficiais e subterrâneas, assumindo-se, assim, como uma valia científica no processo de decisão relativa à gestão, protecção e sustentabilidade deste importante recurso geológico. Além disso, permitiu integrar, em alguns pólos, estudos de radioactividade natural, de geofísica aplicada e sondagens hidrogeológicas.

Ao nível regional, as ferramentas SIG foram um contributo importante na compilação, sistematização e análise da considerável quantidade de informação relativa aos pontos de água do NW Peninsular (346 pontos de água singulares no Norte de Portugal e 250 na Galiza; TERMARED, 2011; consultar o anexo 1), nomeadamente a sua acessibilidade, as condições hidrogeológicas e hidroclimatológicas, os traços geomorfológicos e as condições de utilização, permitindo associar à localização dos pontos georreferenciados, as tabelas no formato alfanumérico com as informações relevantes. Esta base de dados, com informação georreferenciada constitui agora uma importante ferramenta para trabalhos futuros, permitindo identificar, de uma forma rápida, a ocorrência de águas

---

minerais naturais de acordo com a tradição portuguesa que associa o conceito de água termal a águas com propriedades terapêuticas (Calado, 2001; Carvalho, 2006) em qualquer área do Norte de Portugal ou da Galiza.

Em jeito de síntese, pode considerar-se atingido com sucesso o objectivo geral desta dissertação, *i.e.*, o ensio e desenvolvimento metodológico conducente à elaboração de cartografia hidro-temática (especialmente hidrogeológica, hidrogeomorfológica, hidrogeotécnica,...) a diferentes escalas, em áreas-chave do NW Peninsular e assente nas potencialidades de organização e análise da informação geográfica dos SIG aplicados aos recursos hídricos subterrâneos. De facto, o índice do potencial de infiltração desenvolvido e testado em vários cenários e em várias áreas com características geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas distintas constitui um factor acrescido no conhecimento hidrogeológico das áreas em questão. A sua aplicação revelou-se especialmente útil nas áreas mais montanhosas e de relevo mais acidentado, bem como em áreas onde as condições naturais e de ocupação humana permitiram levantamentos geológico-geotécnicos de pormenor, que por sua vez contribuíram para a elaboração de uma cartografia de pormenor do grau de alteração e de fracturação do maciço rochoso.

O índice do potencial de infiltração, quando combinado com o conjunto das informações climáticas e uso do solo, geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas revelou-se uma importante ferramenta de trabalho, no que diz respeito ao conhecimento do funcionamento dos diferentes sistemas aquíferos de cada sector de estudo e tendo permitido definir o denominado “hidro-bloco”.

A sua aplicação demonstrou ser válida nas diversas áreas de trabalho, em diferentes fases do conhecimento hidrogeológico e hidrogeomorfológico desses mesmos locais. Assim, esta metodologia foi aplicada com sucesso, quer em áreas onde o conhecimento hidrogeológico local se encontrava em fases intermédias ou mesmo avançadas (e.g., Caldas da Cavaca, Entre-os-Rios ou Alardo) e onde já existiam captações de águas minerais ou águas normais, permitindo um conjunto de retroanálises complementares, quer em áreas onde o conhecimento hidrogeológico local se apresentava num estágio inicial (área da Noninha). Neste último caso, os estudos desenvolvidos permitiram apoiar o processo de decisão da localização e do tipo de captação a realizar, contribuindo assim de forma decisiva para o sucesso dos trabalhos de prospecção e pesquisa realizados e acompanhados durante o decurso desta dissertação. Nos casos anteriores (Caldas da Cavaca, Entre-os-Rios e Alardo) a nova abordagem metodológica e os novos trabalhos realizados permitiram uma evolução significativa do conhecimento dos sistemas aquíferos aí existentes, bem como do seu funcionamento, interligação e sustentabilidade.

---

As bases de dados geográficas e hidrológicas criadas, que integram a cartografia de base, a cartografia temática, a hidroclimatologia, o inventário hidrogeológico de campo, e os dados dos estudos geológicos de fracturação da compartimentação de maciços de cada uma das áreas permitem, de uma forma expedita, a actualização dos dados compilados, bem como a integração de novos dados relevantes, facilitando assim a realização de actualizações e refinamento nos modelos hidrogeológicos conceptuais construídos para cada caso de estudo.

A presente abordagem, com forte componente holística, revelou-se uma mais-valia para a elaboração do modelo hidrogeológico conceptual dos recursos hidrominerais e das águas subterrâneas “normais”. Com efeito poderá contribuir, em conjunto com outras técnicas hidrogeológicas, hidrogeoquímicas e isotópicas, para a definição de armadilhas hidrogeológicas para futuras captações de pesquisa e/ou eventual exploração, na delimitação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas e em planos de ordenamento do território, nomeadamente nos Planos de Bacias Hidrográficas. A investigação realizada permitiu demonstrar as potencialidades das metodologias aplicadas, bem como identificar uma série de pistas de investigação a serem desenvolvidas em trabalhos futuros:

- Tendo em conta que os pólos de estudo se localizam em áreas graníticas fracturadas, será importante aplicar a metodologia de análise multicritério a outros contextos geológicos/geomorfológicos, nomeadamente em áreas de rochas metassedimentares e rochas cársicas;
- A aplicação da metodologia de análise multicritério em ambiente SIG a diferentes escalas, quer à escala do recurso visando a sua gestão, protecção e sustentabilidade, quer à escala regional em termos de ordenamento territorial em particular ao nível dos planos de bacia hidrográfica;
- Será importante também testar a análise multicritério em áreas com características morfológicas e de ocupação do solo diferenciadas e contrastantes, nomeadamente em ambientes de montanha (e.g., sistemas montanhosos da Estrela, da Peneda-Gerês-Xurés) e em ambientes urbanos ou peri-urbanos;
- Aprofundar o conhecimento da circulação de água subterrânea nas unidades hidrogeológicas com grau de alteração acentuado, bem como a sua relação com a circulação de água no maciço são a pouco alterado que se encontra subjacente;
- Será importante, sempre que possível, refinar o inventário hidrogeológico, bem como fazer um controlo sistemático dos pontos já inventariados ao longo de uma série temporal significativa, relativamente aos parâmetros hidrogeológicos básicos e, ainda, a estudos de radioactividade natural;

- 
- Ao nível hidrogeoquímico, será vital a integração de análises de natureza isotópica, bem como a prossecução da monitorização físico-química dos pontos de água das áreas ora apresentadas;
  - Atendendo à importância da fracturação e alteração dos maciços rochosos no armazenamento e circulação das águas subterrâneas, será também importante a aplicação sistemática das técnicas de caracterização dos maciços rochosos das áreas de estudo;
  - O refinamento da cartografia do grau de alteração do maciço, altamente relacionada com o ponto anterior, revela-se também uma tarefa de grande importância na definição e melhoria dos modelos conceptuais das áreas estudadas.

---

## **8. Bibliografia**



---

## 8. Bibliografia

- A. Cavaco, 1987, Estudo Hidrogeológico das Caldas de Entre-os-Rios. Sondagens e Fundações A. Cavaco Lda, Lisboa, 14 pp. + anexos.
- A. Cavaco, 1989, Estudos e prospecções para captação e aumento de caudais de Água Sulfurosa e potável no Centro do INATEL em Entre-os-Rios. Sondagens e Fundações A. Cavaco Lda, Lisboa, 5 pp. + anexos.
- A. Cavaco, 1990, Furos de pesquisa e eventual captação de água mineral no Centro do INATEL em Entre-os-Rios. Sondagens e Fundações A. Cavaco Lda, Lisboa, 6 pp. + anexos.
- Abrunhosa, M. F. & Lobo, J. M. V., 1991, Estudo hidrogeológico da concessão de água mineral natural de Alardo (Castelo Novo-Fundão-Portugal). Empresa Águas do Alardo, 30 pp.
- Abrunhosa, M. J., 1988, Síntese hidrogeológica da Bacia Hidrográfica do Rio Ave. 22º Curso Internacional de Hidrologia Subterrânea, Barcelona, 52 pp.
- Acciaiuoli, L. M. C., 1952/53, Le Portugal hydromineral. *in* Direction Générale des Mines et des Services Géologiques, ed., Lisbonne, I vol., 1952, 284 p.; II Vol., 1953, 574 pp.
- Adyalkar, P. G., Ayyangar, R. S., Tikekar, S. S. & Khare, Y. D., 1996, Groundwater potencial of deccan flood basalt of Nagpur district in Maharashtra: an imprint from satellite imagery in deccan basalt. *Gondwana Geol. Soc. Sp.*, 2: 485-492.
- Afonso, M. J., 1997, Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto. Tese de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 150 pp.
- Afonso, M. J., 2003, Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto (NW de Portugal). *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, 28: 173-192.
- Afonso, M. J., 2011, Hidrogeologia e hidrogeoquímica da região litoral urbana do Porto, entre Vila do Conde e Vila Nova de Gaia (NW de Portugal): aplicações geoambientais. Tese de doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 370 pp.
- Afonso, M. J., Chaminé, H. I., Gomes, A., Fonseca, P. E., Marques, J. M., Guimarães, L., Guilhermino, L., Teixeira, J., Carvalho, J. M. & Rocha, F. T., 2009, Urban hydrogeomorphology and geology of the Porto metropolitan area (NW Portugal): a multidisciplinary approach. *in* Culshaw, M. G., Reeves, H. J., Jefferson, I., and Spink, T., eds., *Engineering geology for tomorrow's cities*. Geological Society of London Engineering Geology Special Publications, 9 p. (IAEG Paper number 92 on DVD-Rom).
- Afonso, M. J., Chaminé, H. I., Marques, J. M., Carreira, P. M., Guimarães, L., Guilhermino, L., Gomes, A., Fonseca, P. E., Pires, A. & Rocha, F., 2010b, Environmental issues in urban groundwater systems: a multidisciplinary study of the Paranhos and Salgueiros spring waters, Porto (NW Portugal). *Environ Earth Sci*, 61: 379-392.
- Afonso, M. J., Pires, A., Chaminé, H. I., Marques, J. M., Guimarães, L., Guilhermino, L. & Rocha, F. T., 2010a, Aquifer vulnerability assessment of urban areas using a GIS-based cartography: Paranhos groundwater pilot site, Porto, NW Portugal. *in* Jodhpur, ed., *Global Groundwater Resources and Management, Selected Papers from the 33rd International Geological Congress, General Symposium: Hydrogeology*. Scientific Publishers (India), Oslo (Norway), pp. 259-278.
- Aguado, B. V., 1992, Geología estructural de la zona de cisalla de Porto-Tomar en la región de Oliveira de Azeméis-Serra da Arada. Tese de doutoramento, Universidad de Salamanca, Salamanca, 254 pp.
- Aguado, B. V. & Martínez-Catalán, J. R., 1994, Contribución para el conocimiento del Complejo Esquistograuváquico de la región de Arouca (N de Portugal). *Comun. Inst. Geol. Min.*, Lisboa, 80: 27-34.
- Aires-Barros, L. & Marques, J. M., 2000, Portugal country update. *in* Kyushu-Tohoku, ed., *Proceedings of World Geothermal Congress, Japan*, pp. 39-44.
- Al-Harthi, A. A., 2001, A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 60: 193-200.
- Albu, M., Banks, D. & Nash, H., 1997, Mineral and thermal groundwater resources, 447 pp.
- Alcoforado, M. J., Alegria, M. F., Pereira, A. R. & Sirgado, C., 1982, Domínios Bioclimáticos em Portugal, definidos por comparação dos índices de Gausson e de Emberger, Lisboa, 31 pp.
- Alencão, A. M. P., 1998, Os recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Pinhão. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 331 pp.
- Alencão, A. M. P., Pacheco, F. A. L. & Portugal Ferreira, M., 2000, A bacia hidrográfica do rio Corgo (NE de Portugal). Escoamento subterrâneo e parâmetros influentes. *in* APRH, A.-G. E., ed., *In: Samper J., Leitão T., Fernández L. & Ribeiro L. (eds.). Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'*, Volume Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones. A Coruña. ITGE, Madrid, pp. 173-181.
- Almeida, C., Mendonça, J. L., Jesus, M. R. & Gomes, A. J., 2000, Sistemas aquíferos de Portugal Continental, Lisboa.
- Anon, 1920, Caldas da Cavaca: memória descritiva. Porto, 10 pp. + 1 anexo (inédito).
- Araújo, M. A., 1991, Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto. Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 534 pp.

- 
- Araújo, M. A. & Pérez Alberti, A., 1999, Os meios geográficos do Noroeste Peninsular. *in* Souto González, X. M., ed., *Geografia do Eixo Atlântico*. Vigo, Eixo Atlântico do Noroeste Peninsular, pp. 137-200.
- Assaad, F. A., LaMoreaux, P. E., Hughes, T. H., Wangfang, Z. & Jordan, H., 2004, *Field methods for geologists and hydrogeologists* Springer-Verlag, 420 pp.
- ASTM - American Society for Testing and Materials, 2001, Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer. D5873-00, pp. 04 - 08.
- Aydin, A., 2009, ISRM Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: revised version. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(3): 627-634.
- Aydin, A. & Basu, A., 2005, The Schmidt Hammer in rock material characterization. *Engineering Geology*, 81: 1-14.
- Babar, M., 2001, Hydrogeomorphological studies by remote sensing application in Akoli watershed (Jintur), Parbhani Dist. *in* Krishna, I. V. M., ed., In. "Spatial Information Technology: remote sensing and GIS-ICORG", Volume 2. Maharashtra, India, pp. 137-143.
- Babar, M., 2002a, Hydrogeomorphological mapping for groundwater resource development in the northern part of Parbhani District (Maharashtra) using IRS 1B, LISS II Geocoded data, In proceeding volume National conference on GIS and Their Application in Civil Engineering Deccan College of Engineering and Technology, Hyderabad, pp. 75-83.
- Babar, M., 2002b, Application of Remote Sensing in Hydrogeomorphological Studies of Purna River Basin in Parbhani District, Maharashtra, India In proceeding volume of the international symposium of ISPRS Commission VII on Resource and Environmental Monitoring held, 34: 519-523.
- Babar, M., 2005, *Hydrogeomorphology: fundamentals, applications and techniques*. New India Publishing Agency, New Delhi, 274 pp.
- Baddeley, M. C., Curtis, A. & Wood, R., 2004, An introduction to prior information derived from probabilistic judgements: elicitation of knowledge, cognitive bias and herding. *in* Curtis, A., and Wood, R., eds., *Geological prior information, informing science and engineering*, Special Publication 239. London, Geological Society, pp. 15-27.
- Ballukraya, P. N. & Kalimuthu, R., 2010, Quantitative hydrogeological and geomorphological analyses for groundwater potential assessment in hard rock terrains. *Current Science*, 98(2): 253-259.
- Banks, D., Odling, N. E., Skarphagen, H. & Rohr-Torp, E., 1996, Permeability and stress in crystalline rocks. *Terra Nova*, 8(3): 223-235.
- Banks, E. W., Simmons, C. T., Love, A. J., Cranswick, R., Werner, A. D., Bestland, E. A., Wood, M. & Wilson, T., 2009, Fractured bedrock and saprolite hydrogeologic controls on groundwater/surface-water interaction: a conceptual model (Australia). *Hydrogeology J.*, 17: 1969-1989.
- Baptista, A., 1884, *Águas minero-medicinaes do Concelho de Penafiel*. Porto, 84 pp.
- Baptista, A., 1912, *As águas d'Entre-os-Rios e a sua Estância (Torre)*. Edição do Autor.
- Baptista, J., 1998, *Estudo neotectónico da zona de falha Penacova-Régua-Verin*. Tese de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 280 pp.
- Baptista, J., Cabral, J. & Ribeiro, A., 1998, Seismotectonics of Chaves and Moledo mineral springs in Penacova-Régua-Verin Fault Zone. In: Azerêdo, A. C., coord., *Actas do V Congresso Nacional de Geologia*. Comun. Inst. Geol. Min., Lisboa, 84(1): D69-D72.
- Barata, J. G., 1983, Segunda nota clínica sobre as Caldas da Cavaca, 4 pp. (inérito).
- Bastos, C., Quintela, M. M. & Matos, A. P., 2008, O novo aquífero. (<http://www.aguas.ics.ul.pt/>).
- Bernardo de Sousa, M., 1982, *Litostratigrafia e estrutura do "Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico": Grupo do Douro (Nordeste de Portugal)*. Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra, 222 pp.
- Bernardo de Sousa, M., 1983, *Considerações paleogeográficas e ensaio de correlação das formações do Grupo do Douro (CXG) com as formações ante-ordovícicas da Zona Centro-Ibérica*. Mem. Not., Coimbra, 95: 65-96.
- Biro, P., 1949, Les surfaces d'érosion du Portugal central et septentrional., *Rapport Comm. Cart. Surf. Aplan.*, U. G. I., Congrès Int. Géogr., Lisboa, pp. 9-116.
- Bisson, R. A. & Lehr, J. H., 2004, *Modern Groundwater Exploration - Discovering New Water Resources in Consolidated Rocks Using Innovative Hydrogeologic Concepts, Exploration, Drilling, Aquifer Testing and Management Methods*. John Wiley & Sons, 309 pp.
- Bitzer, K., Travé, A. & Carmona, J. M., 2001, Fluid flow processes at basin scale. *Acta Geologica Hispanica*, 36(1/2): 1-20.
- Blanco Chao, R., Pérez Alberti, A., Díaz, N. V. & Casais, M. C., 2006, Alteración y abrasión en plataformas litorales: canal Beagle (Argentina) y costa NW de la Península Ibérica. *in* Pérez Alberti, A., and Bedoya, J. L., eds., *Geomorfología y Territorio - Actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología*. Volume 171. Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, pp.323-336.
- Bloom, A. L., 1978, *Geomorphology*, New Delhi.
- Boorder, H., 1965, *Petrological investigations in the Aguiar da Beira granite area, Northern Portugal*. Universeit van Amsterdam, p.
- Bouwer, H., 1978, *Groundwater hidrology*, McGraw Hill Book Company, Inc., New York, 480pp.
- Brady, B. H. G. & Brown, E. T., 2004, *Rock mechanics for underground mining*. Springer, 628 pp.
- Bredehoeft, J. D., 2005, The conceptualization model problem: surprise. *Hydrogeology Journal*, 13(1): 37-46.
- Brum da Silveira, A. P. V., 2002, *Neotectónica e sismotectónica de um sector do Alentejo Oriental*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 339 pp.
- Brum Ferreira, A., 1978, *Planaltos e montanhas do Norte da Beira: estudo de geomorfologia*. Memórias Centro Estudos Geográficos, Lisboa, 374 pp.
-



- 
- Brum Ferreira, A., 1979, Os mantos de alteração e o modelado das regiões graníticas: ideias recentes e orientações de pesquisa. *Finisterra*, Lisboa, 14(28): 218-244.
- Brum Ferreira, A., 1980, Surfaces d'aplanissement et tectonique récente dans le Nord de la Beira (Portugal). *Revue Géologie Dynamique Géographie Physique*, 22(1): 51-62.
- Brum Ferreira, A., 1991, Neotectonics in Northern Portugal: a geomorphological approach. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 82: 73-85.
- Brum Ferreira, A., 1983, Problemas da evolução geomorfológica quaternária do noroeste de Portugal. *Cuadernos do Laboratório Xeológico de Laxe*, 5: 311-332.
- Brum Ferreira, D., 1981a, Carte geomorphologique du Portugal. *Memórias do Centro de Estudos Geográficos*, Lisboa, 54 pp.
- Brum Ferreira, D., 1981b, Carte Géomorphologique du Portugal, *Memórias do Centro de Estudos Geográficos*. Universidade de Lisboa, Lisboa, 53 pp.
- Burbank, D. & Anderson, R., 2001, *Tectonic Geomorphology*, Blackwell Science, 274 pp.
- Burke, J. A. & Moench, M. H., 2000, Groundwater and society: resources, tensions and opportunities, In: *themes in groundwater management for the twenty-first century*, United Nations Publication, 170 pp.
- Burke, R., Napoleon, E., Ormsby, T., Groess, C. & Feaster, L., 2001, *Getting to Know ArcGIS Desktop: The Basics of ArcView*, ESRI California, 550 pp.
- Cabeças, R. M., Carvalho, J. M. & Nunes, J. C., 2010, Portugal Country Geothermal Update 2010, *Proceedings of the World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonésia, (edição em Cd-Rom).
- Cabral, J., 1995, Neotectónica em Portugal Continental, *Memórias Inst. Geol. Min.*, Lisboa, 31: 1-256.
- Cabral, J. & Ribeiro, A., 1988, Carta neotectónica de Portugal Continental, escala 1/100000, *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa.
- Cabral, J. & Ribeiro, A., 1989, Nota explicativa da carta neotectónica de Portugal, escala 1/1000000. *Serviços Geológicos de Portugal*, 10 pp.
- Caetano, M., Nunes, V. & Nunes, A., 2009, CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal. *Instituto Geográfico Português*, Lisboa, 97 pp.
- Calado, 1995, . Notícia Explicativa da Carta de Nascentes Minerais do Atlas do Ambiente. *Direcção Geral do Ambiente e Recursos Naturais*. Lisboa. 44 pp.
- Calado, C., 2001, A ocorrência de água sulfúrea alcalina no maciço hespérico: quadro hidrogeológico e quimiogénese. Tese de doutoramento, Unive. Lisboa, 462 pp.
- Caran, S. C., Woodruff Jr., C. M., Thompson., J., 1982, Lineament analysis and inference of geologic structure-examples from the Balcones / Ouachita Trend of Texas, *Bureau of Economic Geology, University of Texas at Austin, Geological Circular* 82-1, 13 pp.
- Cardoso, T., 2003, Homenagem a Jean Tricart (1920-2003), *União da Geomorfologia Brasileira*, *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2(4): 101-102 pp.
- Cargill, J. S. & Shakoor, A., 1990, Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock. *Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr*, 53: 97-103.
- Carvalho, J. M., 1979, Contribuição para a prospecção e pesquisa hidrogeológica no Maciço Hespérico Português. *Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências de Lisboa*, 16: 305-326.
- Carvalho, J. M., 1993, Mineral and thermal water resources development in the Portuguese Hercynian Massif. *Hydrogeology of Hard Rocks*, *International Association of Hydrogeologists, IAH*, Oslo, 24(1): 548-561.
- Carvalho, J. M., 1995, Desenvolvimento de recursos hidrominerais no Maciço Hespérico. *Memórias Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, IV Congresso Nacional de Geologia*. Porto, 4: 445-450.
- Carvalho, J. M., 1996, Mineral water exploration and exploitation at the Portuguese Hercynian Massif. *Environmental Geology*, 27(3): 252-258.
- Carvalho, J. M., 2005, Plano de exploração da Concessão Hidromineral HM51-Alardo. *Empresa das Águas do Alardo, SA.*, 14 pp.
- Carvalho, J. M., 2006, Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: linhas metodológicas. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 292 pp.
- Carvalho, J. M. & Amador, F., 2002, *Águas Subterrâneas: uma abordagem metodológica*. *Cadernos Didáticos de Ciências*, Departamento do Ensino Secundário - Ministério da Educação, Lisboa, pp. 21-38.
- Carvalho, J. M. & Chaminé, H. I., 2004, O papel da fracturação e da alteração profunda em estudos de prospecção hidrogeológica: os casos das regiões de Oliveira de Azeméis e de Fafe (Maciço Ibérico, NW de Portugal). *Geociências*, *Revista Universidade de Aveiro*, 16(1/2): 13-31.
- Carvalho, J. M. & Chaminé, H. I., 2007, Uma perspectiva sobre o valor acrescentado das Ciências da Terra nas indústrias do termalismo e do engarrafamento de água. *in* Carvalho, J. M., and Chaminé, H. I., eds., *O valor acrescentado das Ciências da Terra no termalismo e no engarrafamento da água: artigos seleccionados do II Fórum Ibérico de Águas Engarrafadas e Termalismo*. Porto, Departamento de Engenharia Geotécnica/Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pp. 11-23.
- Carvalho, J. M., Chaminé, H. I., Afonso, M. J., Teixeira, J., Espinha Marques, J. & Nunes, J. C., 2009, Sustentabilidade dos recursos de águas naturais: a importância do estabelecimento de modelos conceptuais hidrogeológicos. *in* Nunes, J. C., Carvalho, J. M., and Rubio, R. F., eds., *Actas de Termalismo e águas engarrafadas, perspectiva pluridisciplinar. Encontro Internacional de Termalismo e Turismo Termal & III Fórum Ibérico de Águas Engarrafadas e Termalismo*, Furnas (Açores). Ponta Delgada, INOVA, p. 47-58.
-

- 
- Carvalho, J. M., Chaminé, H. I. & Plasencia, N., 2003, Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos do maciço cristalino do Norte de Portugal: implicações para o desenvolvimento regional, *A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos: recursos geológicos e formação - Série Investigação*, Imprensa da Universidade, Coimbra, pp. 245-264.
- Carvalho, J. M., Espinha Marques, J., Afonso, M. J. & Chaminé, H. I., 2005a, O caudal de exploração em captações de água mineral natural e de nascente em rochas cristalinas do maciço antigo português. *in* Fernández Rubio, R., Moreno, I. Z. & Herranz, M. T. G. (eds.), *Proceedings del I Foro Ibérico sobre Aguas Envasadas y Balnearios*, Madrid, pp. 133-144.
- Carvalho, J. M., Espinha Marques, J., Afonso, M. J. & Chaminé, H. I., 2007, Prospecção e pesquisa de recursos hidrominerais e de água de nascente no Maciço Antigo Português. *Boletim de Minas*, 42(2): pp. 161-196.
- Carvalho, J. M., Monteiro da Silva, J. M., Bicudo da Ponte, C. A. & Cabeças, R. M., 2005b, Portugal country geothermal update, Turkey (edição em CD-Rom).
- Carvalho, J. M., Plasencia, N., Chaminé, H. I., Rodrigues, B. C., Dias, A. G. & Silva, M. A., 2000, Recursos hídricos subterrâneos em formações cristalinas do Norte de Portugal. *in* AIH-Grupo Español & APRH (ed.), *Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'*. A Coruña, Madrid, *Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones*, pp. 163-171.
- Carvalho, M. R., Cruz, J. V., Almeida, C. & Oliveira Silva, M., 1990, Hidrogeoquímica das águas dos granitos Hercínicos das Beiras, *Geolis - Revista de Geologia Económica Aplicada e do Ambiente*. Secção de Geologia Económica e Aplicada da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 4: 228-248.
- Castany, G., 1967, *Traité Pratique des Eaux Souterraines*, Dunod Université, 661 pp.
- Castany, G., 1982, *Principes et Méthodes de l'Hydrogéologie*, Dunod Université, 238 pp.
- Castany, G. & Berkloff, E., 1970, Evaluation rapide des ressources en eaux d'une région. *in* AIH, *Ente de Desarrollo Agrícola* (ed.), *In: Simposio Internacional sobre Aguas Subterráneas de Palermo*. Palermo, pp. 462-682.
- Cerqueira, A., Teixeira, J., Carvalho, J. M., Afonso, M. J. & Chaminé, H., 2006, Cartografia aplicada na área do sistema hidromineral das Caldas da Cavaca (Aguiar da Beira): implicações hidrogeológicas, *Actas do 10 ° Congresso Nacional de Geotecnia*. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. Nova de Lisboa. Volume 3, pp. 659-688.
- CFCFF - Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow, 1996, *Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications*. National Academy Press, 568 pp.
- Chaminé, H. I., 2000, *Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho –Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas*. Tese de doutoramento, Universidade do Porto, 497 pp. + 2 anexos + 3 mapas.
- Chaminé, H. I. & Gaspar, A. F., 1995, Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear. Aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde Estudos. *Notas & Trabalhos Inst. Geol. Min, Porto*, 37: 97-111.
- Chaminé, H. I., Carvalho, J. M. & Fonseca, P. E., 1999, O ramo oeste do carreamento de S. João-de-Ver: estudos de cartografia estrutural e de hidrogeologia no sector de Santiago de Riba-Ul–Oliveira de Azeméis (faixa metamórfica de Espinho–Albergaria-a-Velha, NW de Portugal). *Geologos, Rev. Dep. Geol Univ. Porto*, 5: 57-65.
- Chaminé, H. I., Dias, A. G. & Dinis da Gama, C., 2001, Estudo geológico e geomecânico do maciço granítico de Lamoso (Paços de Ferreira, NW de Portugal). *Geociências, Aveiro*, 15: 79-92.
- Chaminé, H. I., Fonseca, P. E., Pinto de Jesus, A., Gama Pereira, L. C., Fernandes, J. P., Flores, D., Moço, L. P., Dias de Castro, R., Gomes, A., Teixeira, J., Araújo, M. A., Soares de Andrade, A. A., Gomes, C. & Rocha, F., 2007, Tectonostratigraphic imbrications along strike-slip major shear zones: an example from the early Carboniferous of SW European Variscides (Ossa-Morena Zone, Portugal). *in* Wong, T. E., ed., *Proceedings XVth International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy (Utrecht, 2003)*. Royal Dutch Academy of Arts and Sciences, Amsterdam, Edita NKAW, Utrecht, 405-416 p.
- Chaminé, H. I., Gama Pereira, L. C., Fonseca, P. E., Noronha, F. & Lemos de Sousa, M. J., 2003a, Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto–Albergaria-a-Velha–Coimbra–Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos Laboratório Xeológico de Laxe, A Coruña*, 28: 37-78.
- Chaminé, H. I., Gama Pereira, L. C., Fonseca, P. E., Moço, L. P., Fernandes, J. P., Rocha, F. T., Flores, D., Pinto de Jesus, A., Gomes, C., Soares de Andrade, A. A. & Araújo, A., 2003b, Tectonostratigraphy of middle and upper Palaeozoic black shales from the Porto–Tomar–Ferreira do Alentejo shear zone (W Portugal): new perspectives on the Iberian Massif. *Geobios*. 36(6): 649-663.
- Chaminé, H. I., Gama Pereira, L. C., Fonseca, P. E., Noronha, F. & Lemos de Sousa, M. J., 2003c, Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto–Albergaria-a-Velha–Coimbra–Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos Lab. Xeol. Laxe, A Coruña*, 28: 37-78.
- Chilton, J. & Foster, S. S. D., 1993, Hydrogeological characterisation and water-supply potential of basement aquifers in tropical Africa, *Hydrogeology of hard rocks, Memoires of the XXIV Congress, International Association of Hydrogeologists*, Oslo, pp. 1083-1100.
- Choffat, P., 1907, Notice sur la carte hypsométrique du Portugal. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, 1: 1-23.
-

- 
- Choffat, P., 1917, La ligne de dépressions Régua–Verín et ses sources carbonatées. Remarques et considérations. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 12: 35-69.
- Choubey, V. M., Bartarya, S. K. & Ramola, R. C., 2003, Radon in groundwater of eastern Doon valley, Outer Himalaya. *Radiation Measurements*, 36(1-6): 401-405.
- Chowdary, V. M., Rao, N. H. & Sarma, P. B. S., 2003, GIS-based decision support system for groundwater assessment in large irrigation project areas. *Agricultural Water Management*, 62(3): 229-252.
- Chowdary, V. M., Ramakrishnan, D., Srivastava, Y., Chandran, V. & Jeyaram, A., 2009, Integrated Water Resource Development Plan for Sustainable Management of Mayurakshi Watershed, India using Remote Sensing and GIS. *Water Resources Management*, 23(8): 1581-1602.
- Christofolletti, A., 1982, *Geomorfologia*. Edgard Blucher, 188 pp.
- Claverol, M. G., 1993, *Compendio de teledetección geológica*, Servicio de Publicaciones Universidad de Oviedo, 427 pp.
- Cleary, R. W., 1989, *Águas subterrâneas*, Engenharia hidrológica - Volume 2, Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- Cloots-Hirsch, A.-R. & Tricart, J., 1978, L'eau, facteur écologique de l'aménagement : l'exemple de l'Alsace. *Revue de géographie de Lyon*, 53(4): 339-354.
- CMAB - Câmara Municipal de Aguiar da Beira, 1993, *Plano Director Municipal de Aguiar da Beira*. 23 pp.
- Coates, D. R., 1976, *Geomorphology and engineering*. Dowden, Hutchinson & Ross, 360 pp.
- Cocherie, A. & Robert, M., 2007, Direct measurement of lead isotope ratios in low concentration environmental samples by MC-ICP-MS and multi-ion counting. *Chemical Geology*, 243(1-2): 90-104.
- Comissão Europeia, 2007, *National and International River Basin Districts*, D. G. Ambiente - Comissão Europeia (versão digital disponível em [http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html)).
- Conde, L. E. N., 1983, *Mapa de fracturas de Portugal (Memória Descritiva)*. Relatório inédito, 118 pp. + 4 mapas.
- Contreiras, A., 1951, *Manual hidrológico de Portugal*, Lisboa, 73 pp.
- Costa, C. V., Pereira, L. G., Portugal Ferreira, M. & Santos Oliveira, J. M., 1971, Distribuição de oligoelementos nas rochas e solos da região do Fundão. *Mem. Not., Pub. Mus. Lab. Miner. Geol. Univ. Coimbra*, 71: 1-37.
- Courtois, N., Lachassagne, P., Wyns, R., Blanchin, R., Bougaire, F. D., Some, S. & Tapsoba, A., 2009, Large-scale mapping of hard-rock aquifer properties applied to Burkina Faso. *Ground Water*, 48: 269-283.
- Couto, H., Piçarra, J. M. & Gutiérrez-Marco, J. C., 1997, El Paleozóico del anticlinal de Valongo (Portugal). *Grandal D'Anglade, A., Gutiérrez-Marco, J. C. & Santos Fidalgo, L. L. (Eds.), Libro de Resúmenes y Excursiones XII Jornadas de Paleontología "Fósiles de Galicia" / V Reunión Internacional Proyecto 351 PICG "Paleozoico inferior del Noroeste de Gondwana", A Coruña*, pp. 270-290.
- Cruz, J. V. & Oliveira Silva, M., 1991, Enquadramento geológico-estrutural das nascentes termominerais da região de Viseu, *Geolis - Revista de Geologia Económica Aplicada e do Ambiente. Secção de Geologia Económica e Aplicada da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*, Lisboa, 5: 49-60.
- Curran, P. J., 1985, *Principles of remote sensing*, Logman Scientific, London, 260 p.
- Custodio, E. & Llamas, M. R., 2001, *Hidrología subterránea*, Segunda edición, Ediciones Omega, SA, Barcelona, 2350 pp.
- D'Almeida, A. & Almeida, J.D., 1970-1988, *Inventário hidrológico de Portugal*. Instituto de Hidrologia de Lisboa. 3 volumes. (II volume: Trás-os-Montes e Alto Douro, 1970, 639 pp.; III volume: Beira Alta, 1975, 525 pp.; IV volume: Minho, 1988, 505 pp.).
- Dallmeyer, R. D. & Martínez García, E., 1990, *Pre-Mesozoic geology of Iberia*, Springer Verlag, Berlin, 416 pp.
- Daveau, S., 1981, A expedição científica à Serra da Estrela organizada pela Sociedade de Geografia de Lisboa em Agosto de 1881. *Finisterra*, 32: 314-318.
- Daveau, S., 1985a, Critères géomorphologiques de déformations tectoniques récentes dans les montagnes de schistes de la Cordilheira Central (Portugal). *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*, pp. 229-238.
- Daveau, S., 1985b, Mapas climáticos de Portugal. Nevoeiro e nebulosidade. *Contrastes térmicos. Mem. Centr. Estud. Geogr., Lisboa*, 7: 1-72.
- Daveau, S., 1995, *Portugal Geográfico*. Edições João Sá da Costa, Lisboa, 224 pp.
- Daveau, S., Coelho, C., Gama e Costa, V. & Carvalho, L., 1977, Répartition et rythme des précipitations au Portugal, Lisboa, 192 pp.
- Davis, S. N. & Turk, L. J., 1964, Optimum depth of wells in crystalline rocks. *GroundWater*, 2(2): 6-11.
- De Wiest, R. J. M., 1965, *Geohydrology*, John Wiley & Sons, New York, 366 pp.
- Delgado, J. F. N., 1908, *Système Silurique du Portugal. Commission du Service Géologique du Portugal, Etude de Stratigraphie paléontologique*. Lisbonne, 245 pp.
- Dewandel, B., Lachassagne, P., Wyns, R., Maréchal, J. C. & Krishnamurthy, N. S., 2006, A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. *Journal of Hydrology*, 330: 260-284.
- DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, 2009, *Recursos Hidrogeológicos e Geotérmicos* ([www.dgeg.pt](http://www.dgeg.pt)). Acesso em 1-03-2011.
-

- 
- Dias, G., 2001, Fontes de granitóides Hercínicos da Zona Centro-Ibérica (Norte de Portugal): evidências isotópicas (Sr, Nd). In: Neiva, A. M. R. (coord.). Colóquio–Colloquium, Geoquímica e petrogénese de rochas granitóides. Mem. Acad. Ciências Lisboa, Classe Ciências, Lisboa, 39: 121-143.
- Dias, G., Noronha, F. & Ferreira, N., 2000, Introduction. In: Dias G., Noronha F. & Ferreira N. (eds.), Variscan plutonism in the Central Iberian Zone, Northern Portugal. Eurogranites'2000 Field Meeting Guide Book, UM/FCUP/IGM, v., pp. 7-26.
- Dickie, P., 2006, Rich Countries, Poor Water. World Wildlife Fund, 32 pp.
- Dinis da Gama, C., 1995, Aspectos geotécnicos y de fracturación de las rocas ornamentales. in López Jimeno, C. (ed.), Manual de Rocas Ornamentales. Entorno Gráfico S.L., Madrid, pp. 231-246.
- Domenico, P. A. & Schwartz, F. W., 1998, Physical and chemical hydrogeology, John Wiley and Sons, New York, 824 pp.
- DRARN-C - Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Centro, 1997, Rede climatológica das bacias hidrográficas dos rios Mondego, Vouga e Lis. Direcção de Serviços da Água - Divisão do Recursos Hídricos, Coimbra, 345 pp.
- Dunne, T., 1994, Hydrogeomorphology—an introduction. Transactions, Japanese Geomorphological Union, 15A: 1-4.
- Dunne, T. & Leopold, L. B., 1978, Water in environmental planning, W.H. Freeman Co, San Francisco, 818 pp.
- Ebel, B. & Loague, K., 2008, Rapid simulated hydrologic response within the variably saturated near surface. Hydrological Processes, 22(3): 464-471.
- Edet, A. E., Okereke, C. S., Teme, S. C. & Esu, E. O., 1998, Application of remote-sensing data to groundwater exploration: A case study of the Cross River State, southeastern Nigeria. Hydrogeology Journal, 6(3): 394-404.
- El-Rabbany, A., 2002, Introduction to GPS: the Global Positioning System. Artech House, 176 pp.
- Elewa, H. & Qaddah, A., 2011, Groundwater potentiality mapping in the Sinai Peninsula, Egypt, using remote sensing and GIS-watershed-based modeling. Hydrogeology Journal, 19(3): 613-628.
- Elliott, S., Sturman, B., Anderson, S., Brouwers, E. & Beijnen, J., 2007, ICP-MS: When Sensitivity Does Matter. Spectroscopy Magazine (Special Issue).
- Espinha Marques, J., 2007, Contribuição para o conhecimento da hidrogeologia da região do Parque Natural da Serra da Estrela (sector de Manteigas – Nave de Santo António – Torre). Tese de Doutoramento, Universidade do Porto, 378 pp. + anexos.
- Espinha Marques, J., 2008a, Revisão do plano de exploração da Concessão Hidromineral HM-11 Caldas da Cavaca (Dezembro de 2008). 24 pp. + anexos.
- Espinha Marques, J., 2008b, Revisão do Plano de Exploração da Concessão Hidromineral HM-11 Caldas da Cavaca (Maio de 2008). 61 pp. + 9 anexos.
- Espinha Marques, J., Chaminé, H. I., Carvalho, J. M. & Borges, F. S., 2001a, Tectónica regional do sector de Caldas do Moledo–Granjão–Cidadelhe (Falha de Penacova–Régua–Verín, N de Portugal): implicações no controlo das emergências hidrominerais. Comun. Inst. Geol. Min., Lisboa, 88: 203-212.
- Espinha Marques, J., Marques, J. M., Chaminé, H. I., Graça, R. C., Carvalho, J. M., Aires-Barros, L. & Borges, F. S., 2001b, The newly described 'Poço Quente' thermal spring (Granjão–Caldas do Moledo sector, N Portugal): hydrogeological and tectonic implications. Geociências, Aveiro, 15: 19-35.
- Espinha Marques, J., Carvalho, J. M. & Borges, F. S., 2003a, O sistema hidromineral de Caldas do Moledo, Peso da Régua (Norte de Portugal). Cadernos Laboratório Xeológico de Laxe, A Coruña, 28: 127-145.
- Espinha Marques, J., Marques, J. M., Chaminé, H. I., Gomes, A., Fonseca, P. E., Carvalho, J. M., Carreira, P., Graça, R. C., Aires-Barros, L. & Borges, F. S., 2003b, Nascente termal do Poço Quente (Granjão–Caldas do Moledo, Norte de Portugal): morfoestrutura, geoquímica e hidrogeologia. Cadernos Laboratório Xeológico de Laxe, A Coruña, 28: 147-172.
- Espinha Marques, J., Carvalho, J. M. & Borges, F. S., 2004, Estudo do sistema hidromineral de Caldas da Cavaca. relatório inédito, 49 pp.
- Espinha Marques, J., Marques, J. M., Chaminé, H. I., Carreira, P. M., Fonseca, P. E., Samper, J., Vieira, G. T., Mora, C., Teixeira, J., Carvalho, J. M., Sodrê Borges, F. & Rocha, F. T., 2006, Hydrogeochemical model of low temperature geothermal system in a mountainous terrain, Serra da Estrela, Central Portugal. Geothermal Resources Council Transactions, 30: 913-918.
- Espinha Marques, J., Duarte, J. M., Constantino, A. T., Martins, A. A., Aguiar, C., Rocha, F. T., Inácio, M., Marques, J. M., Chaminé, H. I., Teixeira, J., Samper, J., Borges, F. S. & Carvalho, J. M., 2007, Vadose zone characterisation in a mountain hydrogeologic system: Serra da Estrela (Central Portugal) case study. In: Chery, L., Marsily, G. (Eds.), Aquifer Systems Management: Darcy's Legacy in a World of Impending Water Shortage, Selected papers on Hydrogeology. IAH Special Publications. Taylor & Francis CRC Press, 10: 207-221.
- Espinha Marques, J., Marques, J. M., Carvalho, J. M., Samper, J., Carreira, P. M., Fonseca, P. E., Monteiro Santos, F., Chaminé, H. I., Almeida, P. G., Moura, R. M., Sodrê Borges, F. & Pinto de Jesus, A., 2008, Modelação conceptual em hidrogeologia: um caso de estudo no Parque Natural da Serra da Estrela. Geonovas, 21: 41-51.
- Espinha Marques, J., Samper, J., Pisani, B., Alvares, D., Carvalho, J. M., Chaminé, H. I., Marques, J. M., Vieira, G. T., Mora, C. & Borges, F. S., 2010, Evaluation of water resources in a high-mountain basin
-

- 
- in Serra da Estrela, Central Portugal, using a semi-distributed hydrological model. *Environ Earth Sci*, 62(6): 1219-1234.
- Ettazarini, S., 2007, Groundwater potentiality index: a strategically conceived tool for water research in fractured aquifers. *Environmental Geology*, 52(3): 477-487.
- European Commission, 2000, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23<sup>rd</sup> October, 2000: Establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Union*, 43(L327): 1-72.
- Evans, J. P., Forster, C. B. & Goddard, J. V., 1997, Permeability of fault-related rocks and implications for hydraulic structure of fault zones. *Journal of Structural Geology*, 19(11): 1393-1404.
- Fárias, P., Gallastegui, G., Gonzalez-Lodeiro, F., Marquínez, J., Martín Parra, L. M., Martínez Catálan, J. R., Pablo Macia, J. G. & Rodríguez Fernández, L. R., 1987, Aportaciones al conocimiento de la litostratigrafía y estructura de Galicia Central. *Mem. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto*, 1: 411-431.
- Feio, M., 1951, Reflexões sobre o relevo do Minho, *Notas Geomorfológicas I*, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa pp 5-46.
- Feio, M. & Daveau, S., 2004, O Relevo de Portugal: grandes unidades regionais, *Publicações da Associação Portuguesa de Gemomorfólogos*, Coimbra, 151 pp.
- Fernandes, A. J., 2008, Aquíferos fraturados: uma revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação, *Revista do Instituto Geológico*. Instituto Geológico, São Paulo, 29: 49-72.
- Fernández, F. J., Chaminé, H. I., Fonseca, P. E., Munhá, J. M., Ribeiro, A., Aller, J., Fuertes-Fuentes, M. & Borges, F. S., 2003, HT-fabrics in a garnet-bearing quartzite from Western Portugal: geodynamic implications for the Iberian Variscan Belt. *Terra Nova*, 15(2): 96-103.
- Ferreira da Silva, A. J., 1908, As águas minerais de Entre-os-Rios (Estância da Torre): memória e estudo químico e bacteriológico, *Typographia a vapor da Empresa Guedes (Edição do autor)*, Porto. 161 pp.
- Ferreira, N., Iglésias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A. & Ribeiro, M. L., 1987, Granitóides da Zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. in Bea, F., Carnicero, A., Gonzalo, J. C., López Plaza, M., and Rodríguez Alonso, M. D., eds., *Geología de los granitóides y rocas asociadas del Macizo Hespérico - Libro de Homenaje a L. C. García de Figuerola*. Madrid, Editorial Rueda, pp. 37-51.
- Ferrer, M. & González de Vallejo, L., 2007, *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos*, 124 pp.
- Fetter, C. W., 2001, *Applied Hydrogeology*. Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 598 pp.
- Fitts, C. R., 2002, *Groundwater Science*. Academic Press, London, 450 pp.
- Fonseca, A. D. & Fernandes, J. C., 2004, *Detecção Remota*. Lidel, Lisboa, 224 pp.
- Fonseca, L., 2008, *Interação e avaliação entre o maciço rochoso e as tecnologias de perfuração: consequências técnico-económicas.*, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Tese de Mestrado.
- Fonseca, L., Ramos, L., Galiza, A. C. & Chaminé, H. I., 2010, *Avaliação geomecânica de maciços rochosos fraturados e as tecnologias de perfuração: consequências técnico-económicas*. *Actas do 12º Congresso Nacional de Geotecnia, SPG/UM, Guimarães*, 10 pp (CD-ROM).
- Fookes, P. G., 1997, *Geology for engineers: the geological model, prediction and performance*. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, London, 30: 293-424.
- Fookes, P. G., Lee, E. M. & Milligan, G. C., 2005, *Geomorphology for engineers*. Whittles, 312 pp.
- Fookes, P. G., Lee, E. M. & Griffiths, J. S., 2007, *Engineering geomorphology: theory and practice*. Whittles, 288 pp.
- Foster, S. S. D., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. & Paris, M., 2002, *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies*, The World Bank, Washington, 103 pp.
- Freeze, R. A. & Cherry, J. A., 1979, *Groundwater*. Prentice-Hall, New Jersey, 604 pp.
- Freire de Andrade, C., 1935, *Projecto de modificação de captagem das águas das Caldas da Cavaca*. Lisboa, 11 pp. + 1 anexo (inédito).
- Freire de Andrade, C., 1937, *Os vales submarinos portugueses e o diastrofismo das Berlengas e da Estremadura*, Lisboa, 236 pp.
- Freire de Andrade, C., 1938, *Nota acerca dos trabalhos realizados para a modificação da captagem das águas medicinaes das Caldas da Cavaca*. Lisboa, 7 pp. (inédito).
- Fujimoto, M., Ohte, N. & Tani, M., 2008, Effects of hillslope topography on hydrological responses in a weathered granite mountain, Japan: comparison of the runoff response between the valley-head and the side slope. *Hydrological Processes*, 22(14): 2581-2594.
- Fundágua, 1994, *Relatório Final da Captação de Água FD1, 2, 3 e 4 para a Empresa das Águas do Alardo, Lda / Grupo SPADEL*. Arquivo da Empresa das Águas do Alardo.
- Gabriel de Almeida, P., Espinha Marques, J., Fonseca, P. E., Sodrê Borges, F., Samper, J., Carvalho, J. M., Marques, J. M., Aires-Barros, L., Cavaleiro, V., Gomes, A., Rocha, F. T., Teixeira, J., Afonso, M. J. & Chaminé, H. I., 2004, Utilização de sistemas de informação geográfica em estudos da rede de fracturação: aplicação à área de influência da falha da Vilarça (maciço da Serra da Estrela, Portugal Central). In: Cardoso, C. & Ribeiro Sousa, L. (coords.) *Actas do 9º Congresso Nacional de Geotecnia, SPG/UA*, 1: 339-348.
- Galiza, A. C., Ramos, L., Fonseca, L. & Chaminé H.I., 2011. *Geotecnia mineira de maciços rochosos fraturados para o controlo da qualidade do desmonte*. *Revista Ingenium, Ordem Engenheiros*, 124 (Jul/Agos): 76-80.
-

- 
- Gama Pereira, L. C., 1976, Notícia sobre o "Complexo Xisto-Grauváquico" entre Capinha e Penamacor (Beira-Baixa, Portugal). Mem. Not., Pub. Mus. Lab Miner. Geol. Univ. Coimbra, 82: 61-66.
- Gama Pereira, L. C., 1987, Tipologia e evolução da sutura entre a Zona Centro Ibérica e a Zona Ossa Morena no sector entre Alvaiázere e Figueiró dos Vinhos (Portugal Central). Universidade de Coimbra, Tese de doutoramento, 331 pp.
- Gama Pereira, L. C., 1998, A faixa de cisalhamento Porto-Tomar, no sector entre o Espinhal e Alvaiázere (Portugal Central). In: Chaminé H.I., Dias A.G., Ribeiro M.A. & Borges F.S. (Coords). *in* Geólogos, ed., 4ª Conferência Anual GGET'98. Rev. Dep. Geol. Univ. Porto, 2: 23-27.
- GeoAmbiente, 1991, Estudo Hidrogeológico da Concessão de Água Mineral Natural de Alardo. Arquivo da Empresa das Águas do Alardo.
- GeoAmbiente, 1992, Relatório Final do Estudo Hidrogeológico da Concessão de Água Mineral Natural de Alardo (Castelo Novo-Fundão). Arquivo da Empresa das Águas do Alardo.
- GeoEstudos, 1990, Relatório de Construção de Captações/Empresa das Águas do Alardo, Lda. Arquivo da Empresa das Águas do Alardo.
- GeoEstudos, 1994, Estudo hidrogeológico da área envolvente das Caldas da Cavaca. Lisboa, 13 pp. + 1 anexo (inédito).
- GeoSonda, 2004, Prospecção electromagnética nas Caldas da Cavaca. Santa Maria da Feira, p. 7, inédito.
- Geosurveys, 2003, Estudos geológico, hidrogeológico e geofísico para definição de locais favoráveis à realização de sondagens de pesquisa e eventual captação de água mineral. Lda., G. c. e. g., Lisboa, 41 pp. + anexos.
- Girão, A. A., 1940, Montemuro, a mais desconhecida serra de Portugal. Coimbra Editora, 160 pp.
- Gomes, A., 2008, Evolução geomorfológica da plataforma litoral entre Espinho e Águeda. Universidade do Porto, Tese de doutoramento, 339 pp. + 2 mapas.
- Gomes, A., Chaminé, H. I., Teixeira, J., Fonseca, P. E., Gama Pereira, L. C., Pinto de Jesus, A., Pérez Alberti, A., Araújo, M. A., Coelho, A., Soares de Andrade, A. & Rocha, F. T., 2007, Late Cenozoic basin opening in relation to major strike-slip faulting along the Porto-Coimbra-Tomar fault zone (northern Portugal). *in* Special Publications of the International Association of Sedimentologists (IAS), ed., *Sedimentary Processes, Environments and Basins: a tribute to Peter Friend*, Blackwell Publishing, 38: 137-153.
- Gonçalves, C. V. M. & Pereira, A. J. S. C., 2007, Radionuclides in groundwater of the Serra do Buçaco region (Portugal). *Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists - Groundwater and Ecosystems*, IAH, Lisboa, 9 pp. (CD-Rom).
- Gonçalves Henriques, A., 1985, Avaliação dos Recursos Hídricos de Portugal Continental, Instituto de Estudos para o Desenvolvimento, Lisboa, 151 pp.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C., 2002, Ingeniería geológica. Pearson Educación, Madrid, 715 pp.
- Goudie, A. S., 2006, The Schmidt hammer in geomorphological research. *Progress in Physical Geography*, 30(6): 703-718.
- Grayson, R. B., Blöschl, G., Barling, R. D. & Moore, I. D., 1993, Process, scale, and constraints to hydrological modelling in GIS. *in* Publication, I. A. o. H. S., ed., *In: Applications of Geographic Information Systems in Hydrology and Water resources: proceedings of the HydroGIS93 Conference*, Vienna, 211: 83-92.
- Greco, R. & Sorriso-Valvo, M., 2005, Relationships between joint apparent separation, Schmidt hammer rebound value, and distance to faults, in rocky outcrops, Calabria, Southern Italy. *Engineering Geology*, 78(3-4): 309-320.
- Greenbaum, D., 1985, Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith. *Brit Geol Surv Rep OD*, 85/8, 36 pp.
- Gregory, K. J., 1979, Hydrogeomorphology: how applied should we become? *Progress in Physical Geography*, 3(1): 84-101.
- GSE - Geological Society Engineering Group Working Party Report, 1995, The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology, Geological Society*, 28(3): 207-242.
- Gudmundsson, A., Gjesdal, O., Brenner, S. L. & Fjeldskaar, I., 2003, Effects of linking up of discontinuities on fracture growth. *Hydrogeology Journal*, 11(1): 84-99.
- Hancock, P., Hunt, R. & Boulton, A., 2009, Hydrogeocology, the interdisciplinary study of groundwater dependent ecosystems. *Hydrogeology Journal*, 17(1): 1-3.
- Heath, R. C., 1982, Basic ground-water hydrology. U.S.G.S. Water-Supply Paper 2220, 84 pp.
- Hem, J. D., 1989, Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. US Geological Survey, Washington, D.C., 263 pp.
- Henriques, F. F., 1726, Aquilégio Medicinal, Edição fac-simile: Instituto Geológico e Mineiro, 1998.
- Heras, R., 1976, Hidrologia e Recursos Hidráulicos, Dirección de Obras Hidráulicas, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid, Tomo I e II, 1800 pp.
- HidroNorte, 1995, Sondagem de pesquisa mecânica para construção de captação de água mineral natural destinada ao abastecimento do balneário das Caldas da Cavaca. Porto, 3 pp. + 3 anexos (inédito).
- Hidrorumo, 1997, Parecer hidrogeológico referente ao aproveitamento hidroeléctrico de Sela: influências nos recursos hidrominerais da área. *Hidro22* pp.
-

- 
- Hidrorumo, 2000, Plano de Bacia Hidrográfica. Hidrorumo – Projecto e Gestão, SA (Grupo EDP). [Relatórios inéditos de recursos hídricos subterrâneos e de caracterização do meio biofísico, no âmbito dos Planos de Bacia Hidrográfica dos Rios Lima, Cávado, Ave, Leça e Douro, para o INAG].
- Higgins, C. G. & Coates, D. R., 1990, Groundwater geomorphology: the role of subsurface water in earth-surface processes and landforms. Geological Society of America, 368 pp.
- Higuera-Gil, M., Merchán Alvarez, F. & Carvalho, J. M., 2001, Aplicación de las calicatas de bloques para la captación de aguas minerales en una zona granítica. In: Medina A., Carrera J. & Vives L. (eds.), Las caras del agua subterránea. IGME, 2: 815-819.
- Hiscock, K. M., 2005, Hydrogeology Principles and Practice. Blackwell Publishing, 389 pp.
- Houlding, S. W., 1994, 3D Geoscience modeling, computer techniques for geological characterization. Springer-Verlag, Berlin, 320 pp.
- Hudson, J. A. & Harrison, J. P., 2000, Engineering rock mechanics: an introduction to the principles, Amsterdam, 444 pp.
- Huggett, R. J., 2011, Fundamentals of Geomorphology. Taylor & Francis, 472 pp.
- I. Ambiente - Instituto do Ambiente, 1991/92, Atlas do Ambiente Digital. Lisboa, Versão digital (<http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>).
- IGeoE - Instituto Geográfico do Exército, 1997a, Carta Militar de Portugal Série M888. Folha 146 - Tendais, Cinfães, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- IGeoE - Instituto Geográfico do Exército, 1997b, Carta Militar de Portugal Série M888. Folha 124 - Marco de Canaveses, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- IGeoE - Instituto Geográfico do Exército, 1998, Carta Militar de Portugal Série M888. Folha 145 - Nespereira (Cinfães), Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- IGeoE - Instituto Geográfico do Exército, 1999a, Carta Militar de Portugal Série M888. Folha 256 - Alpedrinha, Fundão, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- IGeoE - Instituto Geográfico do Exército, 1999b, Carta Militar de Portugal Série M888. Folha 168 - Queiriga, Vila Nova de Paiva Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- IGeoE - Instituto Geográfico do Exército, 1999c, Carta Militar de Portugal Série M888. Folha 135 - Castelo de Paiva, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- IGM - Instituto Geológico e Mineiro, 1998, Recursos geotérmicos em Portugal Continental: baixa entalpia. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 23 pp.
- IGME - Instituto Geológico e Mineiro de Espanha, 2001, Las Aguas Minerales en España, visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectivas de utilización. Instituto Geológico e Mineiro de Espanha, Madrid, 454 p.
- IM - Instituto de Meteorologia de Portugal / AEMet - Agência Estatal de Meteorologia de Espanha, 2011, Atlas Climático Ibérico. Instituto de Meteorologia de Portugal / Agência Estatal de Meteorologia de Espanha, 79 pp.
- INAG - Instituto da Água, 1997, Definição, caracterização e cartografia dos Sistemas aquíferos de Portugal continental. Direcção de Serviços da Água - Divisão do Recursos Hídricos, 236 pp.
- INAG - Instituto da Água, 2001, Plano da bacia hidrográfica do rio Douro - Relatório final. Instituto da Água , Lisboa, 583 pp.
- INAG - Instituto da Água, 2002, Plano Nacional da Água. Instituto da Água , Lisboa, 758 pp.
- INAG - Instituto da Água, 2009, SNIRH – Sistema Nacional de Recurso Hídricos ([www.snirh.pt](http://www.snirh.pt)). Acesso em 01-04-2009.
- INE - Instituto Nacional de Estatística, 2002, Censos 2001 - resultados definitivos: XIV recenseamento geral da população, IV recenseamento geral da habitação. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Volume 2: Norte, 485 pp.
- Ingebritsen, S. E. & Sanford, W. E., 1998, Groundwater in geologic processes. Cambridge University Press, New York, 341 pp.
- Ingebritsen, S. E. & Manning, C. E., 1999, Geological implications of a permeability-depth curve for the continental crust. *Geology*, 27(12): 1107-1110.
- Ingebritsen, S. E. & Manning, C. E., 2010, Permeability of the continental crust: dynamic variations inferred from seismicity and metamorphism. *Geofluids*, 10(1-2): 193-205.
- INMG - Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1990, O Clima de Portugal: Normais climatológicas da região de Entre Douro e Minho e Beira Litoral, correspondentes a 1951-1980. vol. 1, 85 pp.
- INMG - Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1991, O Clima de Portugal: Normais climatológicas da região de Trás-os-Montes e Alto Douro e Beira Interior correspondentes a 1951-1980. Lisboa, vol. 3, 70 pp.
- ISRM - International Society for Rock Mechanics, 1978a, Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 15: 89-97.
- ISRM - International Society for Rock Mechanics, 1978b, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 15: 319-368.
- ISRM - International Society for Rock Mechanics, 1981, Basic geotechnical description of rock masses. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18: 85-110.
- ISRM - International Society for Rock Mechanics, 2007, The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring, 1974-2006. *in* Ulusay, R., and Hudson, J. A., eds., Suggested methods prepared by the commission on testing methods. Turkey, International Society for Rock Mechanics, 628 pp.
-

- 
- ITGE - Instituto Tecnológico Geominero de España, 1994, Mapa geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias, 1:1.000.000. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.
- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Krishnamurthy, J. & Saxena, R., 2003, Role of remote sensing and GIS techniques for generation of groundwater prospect zones towards rural development--an approach. *International Journal of Remote Sensing*, 24(5): 993-1008.
- Jha, M., Chowdhury, A., Chowdary, V. & Peiffer, S., 2007, Groundwater management and development by integrated remote sensing and geographic information systems: prospects and constraints. *Water Resources Management*, 21(2): 427-467.
- Joly, F., 1997, *Glossaire de géomorphologie: base de données sémiologiques pour la cartographie*. Armand Colin, Paris, 325 pp.
- Kahraman, S., 2001, Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 38(7): 981-994.
- Kahraman, S., Fener, M. & Gunaydin, O., 2002, Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 39: 395-399.
- Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J., 2006, *Understanding GPS: principles and applications*. Artech House, 704 pp.
- Katz, O., Rechesa, Z. & Roegiersc, J.-C., 2000, Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 37: 723-728.
- Kavetski, D., Kuczera, G. & Franks, S. W., 2006, Calibration of conceptual hydrological models revisited: 1. Overcoming numerical artefact. *Journal of Hydrology*, 320, 30(1/2): 173-186.
- Klein, C., 1973, *Massif Armoricaín et Bassin Parisien: contribution a l'étude géologique et géomorphologique d'un massif ancien et d ses enveloppes sédimentaires*. Thèse de Doctorat d'État, Ass. Pub. Près les Universités de Strasbourg, Fondation Baulig, 882 pp.
- Kosler, J., 2007, Laser ablation ICP--MS -- a new dating tool in Earth science. *Proceedings of the Geologists' Association*, 118(1): 19-24.
- Krásný, J., 2002, Quantitative hardrock hydrogeology in a regional scale. *Norgesgeologiske undersekelse Bulletin*, 439: 7-14.
- Krásný, J., 1999, Hard-rock hydrogeology in the Czech Republic. *Hydrogeologie*, 2: 25-38.
- Krásný, J. & Sharp, J. M., 2007, Hydrogeology of fractured rocks from particular fractures to regional approaches: state-of-the-art and future challenges. *in* Group, T. F., ed., *In: Krásný, J. & Sharp, J. M. (eds.) Groundwater in fractured rocks*. London, International Association of Hydrogeologists Selected Papers, pp. 1-30.
- Krishnamurthy, J., Kumar, N. V., Jayaraman, V. & Manivel, M., 1996, An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and a geographical information system. *International Journal of Remote Sensing*, 17(10): 1867 - 1884.
- Kudrna, K. & Šindelářová, M., 2006, Principles of hydrogeomorphology as a basic precondition for solution of territorial structure of unitary system of agricultural, forest and water management. *Journal of Central European Agriculture*, 7(4): 669-676.
- Kulkarni, H., Deolankar, S. B., Lalwani, A. & Lele, V. A., 1994, Integrated remote sensing as an operational aid in hydrogeological studies of deccan basalt aquifer. *Asian-pacific remote sensing J. (ESCAP)*, 6(12): 9-18.
- LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, 2006, *Estudo hidrogeológico da área de concessão hidromineral HM51 Águas do Alardo (Castelo Novo, Fundão)*. Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada|ISEP, Porto, 31 pp.+ anexos.
- LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, 2009, *Estudo geomorfológico e geológico-estrutural da concessão hidromineral HM-23 de Entre-os-Rios (Quinta da Torre) e área envolvente: implicações no desenvolvimento de recursos hídricos subterrâneos*. Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada|ISEP, Porto, 37 pp.+ anexos.
- Lachassagne, P., Wyns, R., Bérard, P., Bruel, T., Chéry, L., Coutand, T., Desprats, J.-F. & Le Strat, P., 2001, Exploitation of High-Yields in Hard-Rock Aquifers: Downscaling Methodology Combining GIS and Multicriteria Analysis to Delineate Field Prospecting Zones. *Ground Water*, 39(4): 568-581.
- Lachassagne, P., Wyns, R. & Benoît, D., 2011, The fracture permeability of hard rock aquifers is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 23(3): 145 - 161.
- LaMoreaux, P. E., 2001, Famous Springs and Bottled waters. *In: Lamoreaux P.E. & Tanner J.T. (eds.) Spring and Bottled Waters of the World*, Springer, pp. 135-141.
- Larsson, I., 1984, *Groundwater in hard rocks. Studies and reports in hydrology*, UNESCO, Paris, 234 pp.
- Lattman, L. H. & Parizek, R. R., 1964, Relationship between fracture traces and the occurrence of groundwater in carbonate rocks. *J. Hydrol*, 2: 73-91.
- Lautensach, H., 1967, *Geografía de España e Portugal*, Ed. Vicens-Vives, Barcelona, 814 pp.
- LeGrand, H. E., 1987, Radon and radium emanations from fractured crystalline rocks: a conceptual hydrogeological model. *Ground Water*, 25: 59-69.
- LeGrand, H. E. & Rosen, L., 2000, Systematic makings of early stage hydrogeologic conceptual models. *Ground Water*, 38(6): 887-893.
- Lencastre, A. & Franco, F. M., 2006, *Lições de Hidrologia*. Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa 451 pp.
- Leopold, L. B., 1982, *Field Data: The Interface between Hydrology and Geomorphology*, Scientific Basis of Water-Resource Management, Studies in Geophysics,. Washington D.C., National Academy Press, pp. 105-108.
-



- 
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. & Chipman, J. W., 2003, *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, Nova Iorque, 704 pp.
- Lima, A. S., 2001, *Hidrogeologia de terrenos graníticos, Minho-Portugal*. Universidade do Minho, Tese de doutoramento, 451 pp.
- Lima, A. S. & Silva, M. O., 2000, Estimativa da recarga em terrenos graníticos: uma discussão. In: Samper, J., Leitão, T., Fernández, L. & Ribeiro, L. (eds.) *Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'*. Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones. A Coruña. AIH-Grupo Español & APRH. ITGE, Madrid. pp. 183-189.
- Lin, H., 2003, *Hydropedology: Bridging Disciplines, Scales, and Data*. *Vadose Zone Journal*, 2(1): 1-11.
- Lin, H., 2010, *Earth's Critical Zone and hydropedology: concepts, characteristics, and advances*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14(1): 25-45.
- Lin, H., Bouma, J., Wilding, L. P., Richardson, J. L., Kutílek, M. & Nielsen, D. R., 2005, *Advances in Hydropedology*. in Donald, L. S. (ed.), *Advances in Agronomy*, Academic Press, 85: 1-89.
- Lin, H., Bouma, J., Pachepsky, Y., Western, A., Thompson, J., van Genuchten, R., Vogel, H.-J. & Lilly, A., 2006, *Hydropedology: Synergistic integration of pedology and hydrology*. *Water Resour. Res.*, 42: W05301, 13 pp.
- Lin, H., Vogel, H. J. & Seibert, J., 2010, Preface "Towards holistic studies of the Earth's Critical Zone: hydropedology perspectives". *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14(3): 479-480.
- Lloyd, J. W., 1999, *Water resources of hard rock aquifers in arid and semi-arid zones*. *Studies and Reports in Hydrology*, 58, UNESCO, Paris, 284 pp.
- LNEC, 2008, *Análise e parecer sobre a situação originada pelo derrame de hidrocarbonetos em Entre-os-Rios*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 88 pp. + anexos.
- Loague, K., Heppner, C. S., Mirus, B. B., Ebel, B., Ran, Q., Carr, A., BeVile, S. H. & VanderKwaak, J. E., 2006, *Physics-based hydrologic-response simulation: foundation for hydroecology and hydrogeomorphology*. *Hydrological Processes*, 20(5): 1231-1237.
- Lotze, F., 1945, *Zur gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta*. *Geotect. Forsch.*, Berlin, 6: 78-92 [trad. JM Rios, 1950. *Observaciones respecto a la división de los variscides de la Meseta Ibérica*. *Inst. L. Mallada, Pub. Extr. Geol. España*, 5 (27): 149-166].
- Machado Lima, J. F., Carvalho, J. M. & Guedes, J., 1985, *Captação de água em formações graníticas da área do Porto*. *Boletim Sociedade Geológica de Portugal*, Lisboa, 24: 305-312.
- Machado, M. J. C., 1988, *O quimismo das águas sulfúreas portuguesas*. *Estudos Notas Trab. Serv. Fom. Min.*, Porto, 30: 37-49.
- Mackey, B. G., 1996, *The role of GIS and environmental modelling in the cnservation of biodiversity*. National Center for Geographic Information and Analysis, *Proceedings of the Third International Conference in Integrating GIS and Environmental Modelling*, Santa Fé, New México.
- Maréchal, J. C., Dewandel, B., Shakeel, A. & Lachassagne, P., 2007, *Hard rock aquifers characterization prior to modelling at catchment scale: an application to India*. In: Krásný, J. & Sharp, J. M. (eds.) *Groundwater in fractured rocks*. International Association of Hydrogeologists Selected Papers, Taylor & Francis Group, London, pp. 227-242.
- Marques, F. O., Ribeiro, A. & Pereira, E., 1991-92, *Tectonic evolution of the deep crust: Variscan reactivation by extension and thrusting of Precambrian basement in the Bragança and Morais massifs (Trás-os-Montes, NE Portugal)*. *Geodinam. Acta*, 5(1/2):131-151.
- Marques, J. M., 1999, *Geoquímica dos fluidos e da interacção água-rocha: os casos das águas mineralizadas quentes e frias de Chaves, Vilarelho da Raia, Vidago e Pedras Salgadas*. Universidade Técnica de Lisboa, Tese de doutoramento, 276 pp.
- Marques, J. M., Espinha Marques, J., Carreira, P. M., Graça, R. C., Aires-Barros, L., Carvalho, J. M., Chaminé, H. I. & Borges, F. S., 2003, *Geothermal fluids circulation at Caldas do Moledo area, Northern Portugal: geochemical and isotopic signatures*. *Geofluids*, 3(3): 189-201.
- Marsily, G., 1986, *Quantitative Hydrogeology*, Academic Press, 440 pp.
- Marsily, G., 1997, *A água*, Biblioteca Básica da Ciência e Cultura, Instituto Piaget, Lisboa, 149 pp.
- Martín-Serrano, A., 1994, *Macizo Hespérico septentrional*, In: Gutiérrez Elorza, M. (ed.) *Geomorfologia de España*. Editorial Rueda, Madrid, pp. 25-62.
- Martín-Serrano, A., 2005, *Mapa geomorfológico de España y del margen continental a escala 1:1.000.000*. Instituto Geológico e Mineiro de Espanha, Madrid.
- Martins, M. E. R., 1997, *Geologia, petrologia e geoquímica dos granitóides hercínicos da região de Lamego (Norte de Portugal)*. Universidade de Aveiro, Tese de doutoramento, 287 pp.
- Mayer, L., 2000, *Application of digital elevation models to macroscale tectonic geomorphology*, In: Summerfield, M. (ed.) *Geomorphology and global tectonics*, 367 pp.
- Mays, L. W., 2010, *Ancient water technologies*. Springer, Dordrecht, 286 pp.
- McCoy, J. & Johnston, K., 2001, *Using Arcgis Spatial Analyst*. ESRI - Environmental Systems Research Institute, 232 pp.
- McKnight, T. L. & Hess, D., 2000, *Climate Zones and Types: The Köppen System*. *Physical Geography: A Landscape Appreciation*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Medeiros, A., 1963, *Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000. Folha 13-B (Castelo de Paiva)*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Medeiros, A., 1963, *Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000. Folha 13-B (Castelo de Paiva)*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
-

- 
- Medeiros, A.; Pereira, E.; Moreira, A., 1980. Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000. Folha 9-D (Penafiel). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Medeiros, A.; Pereira, E.; Moreira, A., 1981. Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000. Folha 9-D (Penafiel). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Meinzer, O. E., 1923, Outline of groundwater hydrology with definitions. USGS Water-Supply paper 494, 69 pp.
- Mendes, B. & Oliveira, J. F. S., 2004, Qualidade da água para consumo humano, Lidel, Lisboa, 626 pp.
- Mendes, E., Ferreira Gomes, L. M., Melo, M. T. C. & Ribeiro, L., 2010, Groundwater recharge in the fractured massif of Gardunha mountain (Central Portugal), In: Zuber, A., Kania, J. & Kmiecik, E. (eds.), Abstract Book of XXXVIII IAH Congress, University of Silesia, Vol. I, pp. 1265-1266.
- Mendes, J. C. & Bettencourt, M. L., 1980, Contribuição para o estudo do climatológico da água no solo e classificação climática de Portugal Continental. O clima de Portugal, Inst. Nac. Meteor. Geof., Lisboa, 24(5-13): 1-282.
- Moitinho de Almeida, F., 1970, Carta hidrogeológica de Portugal, escala 1/1000000. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa.
- Monteiro, A., 2005, Atlas agroclimatológico do Entre Douro e Minho. Projecto POCTI/GEO/14260/1998, 286 pp.
- Moreira, A. & Ribeiro, L. - Serviços Geológicos de Portugal, 1985, Carta Geológica de Portugal, escala 1/50000. Folha 1-B (Monção), Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Moreira, A. & Simões, M. C., 1988, Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50000, Folha 1-D (Arcos de Valdevez). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 48 p.
- Moreira, N., Búrcio, M., Dias, R. & Coke, C., 2010, Partição da deformação Varisca nos sectores de Peso da Régua e Vila Nova de Foz Côa (Autóctone da Zona Centro Ibérica). Comunicações Geológicas, 97: 147-162.
- Moret, L., 1946, Les sources thermominérales, Masson, 146 pp.
- Nastev, M., Rivera, A., Lefévre, R. & Savard, M., 2005, Numerical simulation of regional flow in sedimentary rock aquifers. Hydrogeology Journal, 13(4): 544-554.
- Neuman, S. P., 2005, Trends, prospects and challenges in quantifying flow and transport through fractured rocks. Hydrogeology Journal, 13: 124-147.
- Neuman, S. P. & Weirenga, P. J., 2003, A comprehensive strategy of hydrogeologic modelling and uncertainty analysis for nuclear facilities and sites, NUREG/CR-6805, USNRC, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 239 pp. + anexos.
- Neves, M. A. & Morales, N., 2007a, Structural control over well productivity in the Jundiaí River Catchment, Southeastern Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 79(2): 307-320.
- Neves, M. & Morales, N., 2007b, Well productivity controlling factors in crystalline terrains of southeastern Brazil. Hydrogeology Journal, 15(3): 471-482.
- Nichols Jr, T. C., 1980, Rebound, its nature and effect on engineering works. Quarterly Journal of Engineering Geology, 13(13): 133-152.
- Nilsson, B., Højberg, A. L., Refsgaard, J. C. & Trolborg, L., 2006, Uncertainty in geological and hydrogeological data. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss, 3: 2675-2706.
- NRC - National Research Council, 2001, Basic research opportunities in earth science. National Academy Press, Washington DC, 154 pp.
- O'Leary, D. W., Friedman, J. D. & Poh, H. A., 1976, Lineaments, linear, lineations: some standards for old terms. Geol Soc Am Bull, 87: 1463-1469.
- Ofoegbu, G. I., Bagtzoglou, A. C., Green, R. T. & Muller, M., 1999, Effects of perched water on thermally driven moisture flow at the pro-posed Yucca Mountain repository for high-level waste. Nuclear Technology, 125(2): 235-253.
- Ofoegbu, G. I., Painter, S., Chen, R., Fedors, R. W. & Ferrill, D. A., 2001, Geomechanical and thermal effects on moisture flow at the pro-posed Yucca Mountain nuclear repository. Nuclear Technology, 143(3): 241-262.
- Okunishi, K., 1991, Hydrogeomorphological interactions—a review of approach and strategy. Transactions, Japanese Geomorphological Union, 12: 99-116.
- Okunishi, K., 1994, Concept and methodology of hydrogeomorphology. Transactions, Japanese Geomorphological Union, 15A: 5-17.
- Oliveira, A. S., 1995, Hidrogeologia da região de Pedras Salgadas. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, 229 pp.
- Oliveira e Souza, L. S., 1947, Memória descritiva do projecto para o novo balneário das Caldas da Cavaca. Lisboa, 10 pp. + 3 anexos (inédito).
- Oliveira, J. T., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes, M. T. & Monteiro, J. H. - Serviços Geológicos de Portugal, 1992, Carta Geológica de Portugal, escala 1/500000 (Folha 1 - Norte e Folha 2 - Sul). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Oliver, J., 1986, Fluids expelled tectonically from orogenic belts: their role in hydrocarbon migration and other geologic phenomena. Geology, 14: 99-102.
- Ollier, C. & Clayton, K. M., 1981, Tectonics and landforms. Longman, 324 pp.
- Ormsby, T., Napoleon, E. & Burke, R., 2004, Getting to Know ArcGIS Desktop: The Basics of ArcView, ArcEditor, and ArcInfo Updated for ArcGIS 9. ESRI Press, 588 pp.
- Orr, H. G., Large, A. R. G., Newson, M. D. & Walsh, C. L., 2008, A predictive typology for characterising hydromorphology. Geomorphology, 100(1-2): 32-40.
-

- 
- Pacheco, F. & van der Weijden, C. H., 1996, Contributions of water-rock interactions to the composition of groundwater in areas with a sizeable anthropogenic input: a case study of the waters of the Fundão area, central Portugal. *Water Resources Research*, 32(12): 3553-3570.
- Pacific Institute, 2011, *Water Conflict Chronology Timeline*. Pacific Institute, (<http://www.worldwater.org/conflict.html>), Acesso em 01-04-2011.
- Paradela, P. L., 1975, Recursos Hídricos Subterrâneos, Atlas do Ambiente de Portugal, Comissão Nacional do Ambiente, Lisboa.
- Patil, B. S., Khadilkar, A. K. & Zambre, M. K., 1999, Shallow groundwater zines mapping by using remote sensing techniques: A case study around Pishore, Aurangabad district, Maharashtra. In Seminar Vol. On "Groundwater and Watershed Development" at Jai Hind College, Dhule, pp. 63-65.
- Peacock, D. C. P., Harris, S. D. & Mauldon, M., 2003, Use of curved scanlines and boreholes to predict fracture frequencys. *J. Struct. Geol.*, 25: 109-119.
- Pedrosa, M. Y., 1998, Carta Hidrogeológica de Portugal, à escala 1/200000 (Folha 1), Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Pedrosa, M. Y., 1999, Notícia explicativa da Carta Hidrogeológica de Portugal, à escala 1/200000. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 70 pp.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L. & McMahon, T. A., 2007, Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11(5): 1633-1644.
- Peña Monné, J. L., 1997, Cartografía geomorfológica básica y aplicada. *Geoforma*, Logroño, 227 pp.
- Pereira, A. J. S. C., Neves, L. J. P. F. & Gonçalves, C. V. M., 2007a, Radon in groundwater from the Hesperian massif (Central Portugal). In: Ribeiro, L., Chambel, A. & Condesso de Melo, M. T. (eds.) XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists, Groundwater and Ecosystems. Lisbon, pp. 190.
- Pereira, A. J. S. C., Victória, S., Vicente, A. M. P. & Neves, L. J. P. F., 2007b, Structural lineaments in a volcanic island evaluated through remote sensing techniques: the case of Santiago Island (Cape Verde), International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Barcelona, pp.1632-1635.
- Pereira, A. J. S. C., Venâncio, P., Neves, L. J. P. F., Godinho, M., Ferreira, N. & Castro, P., 2008a, Remote sensing applied to geological mapping and tectonics: a study in the Viseu region (Central Portugal). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10 (EGU2008-A-05682).
- Pereira, A. J. S. C., Azevedo, A., Victória, S., Cunha, P., Pereira, L., Vicente, A. & Neves, L. J. P. F., 2008b, Structural interpretation of Santiago Island (Cape Verde) based on remote sensing techniques. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10 (EGU2008-A-05720).
- Pereira, A. J. S. C., Godinho, M. M. & Neves, L. J. P. F., 2010, On the influence of faulting on small-scale soil-gas radon variability: a case study in the Iberian Uranium Province. *Journal of Environmental Radioactivity*, 101: 875-882.
- Pereira, E., Ribeiro, A., Carvalho, G. S., Noronha, F., Ferreira, N. & Monteiro, J. H. - Serviços Geológicos de Portugal, 1989, Carta Geológica de Portugal, escala 1/200000. Folha 1, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Pereira, E., Ribeiro, A., Carvalho, G. S., Noronha, F., Ferreira, N. & Monteiro, J. H. - Serviços Geológicos de Portugal, 1992, Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, escala 1/200 000. Folha 1, Serviços Geológicos de Portugal.
- Pereira, E., Ribeiro, A., Marques, F., Munhá, J., Castro, P., Meireles, C., Ribeiro, M. A., Pereira, D., Noronha, F. & Ferreira, N. - Serviços Geológicos de Portugal, 2001, Carta Geológica de Portugal, escala 1/200000. Folha 2, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Pereira, M. R., 1999, Hidrogeologia das rochas fracturadas da terra quente transmontana. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Tese de Doutoramento, 299 pp.
- Pereira, S., 2009, Perigosidade a movimentos de vertente na região Norte de Portugal. Faculdade de Letras - Universidade do Porto, Tese de Doutoramento, 370 pp.
- Pinheiro, L. M., Wilson, R. C. L., Pena dos Reis, R., Whitmarsh, R. B. W. & Ribeiro, A., 1996, The Western Iberian Margin: a Geophysical and Geological Overview. In: Whitmarsh, R. B., Daywer, D., Klaus, A. & Masson, D. G. (eds.) *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Leg 149, Scientific Results Volume*, pp. 3-23.
- Pinho, R., Gomes, A., Soares, L. M. P. M. & Chaminé, H. I., 2009, A detecção de lineamentos estruturais mediante a interpretação de imagens dos satélites Landsat e Spot: um estudo comparativo aplicado ao norte de Portugal, VII Congresso da Geografia Portuguesa, Coimbra.
- Pinto de Jesus, A., 2001, Génese e evolução da Bacia Carbonífera do Douro (Estefaniano C inferior, NW de Portugal): um modelo. Universidade do Porto, Tese de doutoramento, 272 pp. + anexos.
- Pinto de Jesus, A., 2003, Evolução sedimentar e tectónica da Bacia Carbonífera do Douro (Estefaniano C inferior, NW de Portugal). *Cadernos Lab. Xeol. Laxe, A Coruña*, 28: 107-125.
- Pomerol, C. & Ricour, J., 1992, *Terroirs et thermalisme de France*, 288 pp.
- Portugal, E., Birkle, P., Barragán R, R. M., Arellano G, V. M., Tello, E. & Tello, M., 2000, Hydrochemical-isotopic and hydrogeological conceptual model of the Las Tres Vírgenes geothermal field, Baja California Sur, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 101(3-4): 223-244.
- Portugal Ferreira, M., Costa, V., Macedo, C. M. & Gama Pereira, L. C., 1977, Datações K-Ar em biotite das rochas granitóides da Cova da Beira (Portugal Central). *Mem. Not., Pub. Mus. Lab Miner. Geol. Univ. Coimbra*, 84: 39-48.
-

- 
- Portugal Ferreira, M. R., Carvalho, J. M. & Mendonça, J. L., 1984, Águas Minerais na Zona Centro Ibérica (Sector de Portugal): Metodologia. Tipologias. In: 1º Congreso Español de Geología, AEG, Madrid, 4: 317-330.
- Pral, A., 1965, Primeira nota clínica sobre as Caldas da Cavaca, 2º Congresso Internacional Luso-Espanhol da Hidrologia. Tipografia Luso-Ultramarina, Lisboa, 10 pp.
- Priest, S. D., 1993, Discontinuity analysis for rock engineering. Kluwer Academic Publishers, 473 pp.
- Priest, S. D. & Hudson, J. A., 1981, Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18: 183-197.
- R. L. Azenha, 2007, Relatório final dos furos da Câmara Municipal de Aguiar da Beira - Caldas da Cavaca. Renato Lima Azenha Lda, Sintra, 61 pp..
- Rabaça, T. J. L., Conde, L. N., Pinto, A. F. F. & Pereira, A. J. S. C., 2004, Avaliação das potencialidades de técnicas de detecção remota como suporte à cartografia geológica na região central de Portugal, e-Terra – Revista Electrónica de Ciências da Terra. 2(1).
- Rabenhorst, M. C., Bell, J. C. & McDaniel, P. A., 1998, Quantifying soil hydromorphology. *Soil Science Society of America, Special Publication 54*, 258 pp.
- Ramalho Ortigão, J. D., 1875, Banhos de Caldas e Águas Minerais. Clássica Editora, 287 pp..
- Ramos, L., 2008, Avaliação geotécnica e geomecânica de maciços rochosos fracturados para o controlo da qualidade do desmonte., Instituto Superior de Engenharia do Porto, Tese de Mestrado.
- Ratinho, S., 1999, Ensaio de caudal num aquífero granítico do Centro de Portugal. Trabalho de fim de curso da Licenciatura em Engenharia dos Recursos Hídricos, Universidade de Évora, 166 pp.
- Rebello, F. M. S., 1984, Adaptações e inaptações às cristas quartzíticas do Noroeste Português. In: Livro de Homenagem a Orlando Ribeiro, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, Volume 1, pp. 321-331.
- Reddy, C. S. S., Campagna, D. J. & Levandowski, D. W., 1989, Digital image processing of multitemporal Landsat data its application in groundwater exploration: Quantitative Remote Sensing: An Economic Tool for the Nineties. *International Geosciences & Remote Sensing Symposium*, 2: L1-L6.
- Reid, T. R. & Harrison, J. P., 2000, A semiautomated methodology for discontinuity trace detection in digital images of rock mass exposures. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37: 1073-1089.
- Resende, L., 2005, Estudo de prospecção hidrogeológica da área de concessão HM51 Águas do Alardo (Castelo Novo, Fundão): contributos para a gestão do georrecurso. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Relatório de Projecto de Licenciatura, 75 pp. + anexos.
- Ribeiro, A., 1974, Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental. *Mem. Serv. Geol. Portg.*, Lisboa, 24: 1-168.
- Ribeiro, A., 1984, Néotectonique du Portugal, Livro de Homenagem a Orlando Ribeiro, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, pp. 173-182.
- Ribeiro, A., 2006, A evolução geodinâmica de Portugal. *in* Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., and Kullberg, J. C. (eds.) *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, Univerisdade de Évora, pp. 1-27.
- Ribeiro, A., Cramez, C. & Rebello, J. A., 1964, Sur la structure de Trás-os-Montes (Nord-Est du Portugal). *C. R. Acad. Sci., Paris*, 258: p. 263-265.
- Ribeiro, A., Conde, L. & Monteiro, J., 1972, Carta tectónica de Portugal, escala 1/1000000. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa.
- Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewski, G., Almeida, F. M., Carvalho, D. & Monteiro, J. H., 1979, Introduction à la géologie générale du Portugal, *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 114 pp.
- Ribeiro, A., Kullberg, M. C., Kullberg, J. C., Manuppella, G. & Phipps, S., 1990a, A review of Alpine tectonics in Portugal: Foreland detachment in basement and cover rocks. *Tectonophysics*, 184: 357-366.
- Ribeiro, A., Quesada, C. & Dallmeyer, R. D., 1990b, Geodynamic evolution of the Iberian Massif. In: Dallmeyer, R. D. & Martínez-García, E. (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 397-410.
- Ribeiro, A., Baptista, Cabral, J. & Matias, L., 1996, Tectonic stress pattern in Portugal mainland and the adjacent Atlantic region (West Iberia). *Tectonics*, 15: 641-659.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, T., Romão, J., Chaminé, H., Coke, C. & Pedro, J., 2007, Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, 2; TC6009, 24 pp.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Mateus, A., Fonseca, P. E., Noronha, F., Romão, J., Feliciano, J., Castro, P., Meireles, C. & Ferreira, N., 2009, Mechanics of thick-skinned Variscan overprinting of Cadomian basement (Iberian Variscides). *C. R. Geoscience*, 341: 127-139.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Fonseca, P. E., Araújo, A., Pedro, J. C., Mateus, A., Tassinari, C., Machado, G. & Jesus, A., 2010, Variscan Ophiolite Belts in the Ossa-Morena Zone (Southwest Iberia): geological characterization and geodynamic significance. *Gondwana Research*, 17: 408-421.
- Ribeiro dos Santos, A., 1994, As captações "Alardo" e a bacia de captação da Ribeira de Alpreade. Arquivo da Empresa das Águas do Alardo.
- Ribeiro, L. & Moreira, A., 1986, Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50000, Notícia Explicativa da Folha 1-B (Monção), *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 46 p.
- Ribeiro, M. L., 1993, Granitos do ocidente ibérico: contribuição para a sua interpretação geodinâmica. *Cuad. Labor. Xeol. Laxe, A Coruña*, 18: 7-25.
- Ribeiro, O., 1939, Sur la morphologie de la Basse Beira. *Bull. Assoc. Géograph. Français*, 122: 113-122.
-

- 
- Ribeiro, O., 1940, Problemas morfológicos do Maciço Hespérico Português. *Las Ciências*, Madrid, 6(2): 315-336.
- Ribeiro, O., 1942, Notas sobre a evolução morfológica da orla meridional da Cordilheira central entre Sobreira Formosa e a Fronteira. *Bol. Soc. Geol. Portg.*, Porto, 1(3): 123-144.
- Ribeiro, O., 1943, Novas observações geológicas e morfológicas nos arredores de Vila Velha de Rodão. *Pub. Do Museu e Lab. Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto*, 32: 24.
- Ribeiro, O., 1944, Uma região portuguesa de transição: a Beira Baixa, Biblioteca Nacional, Lisboa pp. 625-639.
- Ribeiro, O., 1949a, A Cova da Beira. *Controvérsia de Geomorfologia*. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, 30: 23-41.
- Ribeiro, O., 1949b, Le Portugal Central, Livret-guide de l'excursion C, Union Géographique Internationale. XVI Congrès Internationale Géographique, Lisbonne, 180 pp..
- Ribeiro, O., 1951, Três notas de geomorfologia da Beira Baixa. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, Lisboa, 32: 271-294.
- Ribeiro, O., 1954, Estrutura e relevo da Serra da Estrela, Tomo Homenaje E. Hernández-Pacheco, *Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat.*, Madrid, pp. 549-566.
- Ribeiro, O., 1970, Genèse et diversité des montagnes portugaises. *Argumenta Geographica*, *Festschrift Carl Troll, Colloquium Geographicum*, Bonn, 12: 214-224.
- Ribeiro, O., Almeida, J. P. & Patrício, A., 1943, Nota preliminar sobre a morfologia do maciço da Gralheira. *Bol. Soc. Geol. Portg.*, Porto, 3(1/2): 81-85.
- Ribeiro, O., Lautensach, H. & Daveau, S., 1987, *Geografia de Portugal - Vol. I. A posição geográfica e o território*. Edições João Sá da Costa, Lisboa, pp. 1-334 p.
- Ribeiro, O., Lautensach, H. & Daveau, S., 1988, *Geografia de Portugal - Vol II. O ritmo climático e a paisagem*. Edições João Sá da Costa, Lisboa, pp. 336-623.
- Richards, J. A., 1993, *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlim. 340 pp.
- Rochette Cordeiro, A. M., 1992, O peso do factor estrutural no desenvolvimento do relevo granítico ligado à erosão diferencial (o exemplo dos alvéolos do Centro-Norte de Portugal). In: *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia*, Publicações da Universidade do Porto, 2: 699-706.
- Rockwell, J., Fonseca, J., Madden, C., Dawson, T., Owen, L. A., Vilanova, S. & Figueiredo, P., 2009, Paleoseismology of the Vilariça Segment of the Manteigas-Bragança Fault in Northeastern Portugal. *Geol. Soc. London, Special Publication*, 316: 237-258.
- Rodrigues, C., Carvalho, J. M., Afonso, M. J., Teixeira, J. & Chaminé, H. I., 2010, Do modelo conceptual à captação hidrogeológica: importância em estudos de recursos geológicos e de geoengenharia. Publicações da Associação Nacional dos Engenheiros Técnicos - ANET, Porto, 21 pp.
- Rojas, R., Kahunde, S., Peeters, L., Batelaan, O., Feyen, L. & Dassargues, A., 2010, Application of a multimodel approach to account for conceptual model and scenario uncertainties in groundwater modelling. *Journal of Hydrology*, 394(3-4): 416-435.
- Rojstaczer, S. A., Ingebritsen, S. E. & Hayba, D. O., 2008, Permeability of continental crust influenced by internal and external forcing. *Geofluids*, 8: 128-139.
- Romano, M. & Diggens, J. N., 1973-74, The stratigraphy and structure of Ordovician and associated rocks around Valongo, north Portugal. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, 57: 23-50.
- Sabins, F. F., 1997, *Remote Sensing: Principles and Interpretation*. Waveland Press, Inc., Long Groove, 494 pp.
- Salama, R., 2005, Interconnectivity between the Superficial Aquifer and the Deep Confined Aquifers of the Gngangara Mound, Western Australia. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 5(1): 27-44.
- Salinero, E. C., 2007, *Teledetección Ambiental. Série La observación de la Tierra desde el Espacio*, Editorial Ariel, Barcelona, 586 pp.
- Samper, J., Vera, M. G., Pisani, B., Varela, A., Losada, J. A., Alvares, D. & Espinha Marques, J., 2007, Using hydrological models and Geographic Information Systems for water resources evaluation: GISVISUAL-BALAN and its application to Atlantic basins in Spain (Valiñas) and Portugal (Serra da Estrela). In: *Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability*, IAH Special Publication 310: 259-266.
- Sander, P., 2007, Lineaments in groundwater exploration: a review of applications and limitations. *Hydrogeology Journal*, 15(1): 71-74.
- Sankar, K., Jegatheesan, M. S. & Balasubramanian, A., 1996, Geoelectrical resistivity studies in the Kanyakumari District, Tamil Nadu. *Journal of Applied Hydrology*, 1-2: 83-90.
- Scanvic, J. Y., 1989, *Teledetección aplicada*, Paraninfo SA, Madrid, 240 pp.
- Scesi, L. & Gattinoni, P., 2009, *Water circulation in rocks*, Springer, Dordrecht, 165 pp.
- Scheidegger, A. E., 1973, Hydrogeomorphology. *Review. J. Hydrology*, 20(3): 193-215.
- Scheidegger, A. E., 2004, *Morphotectonics*. Springer, Berlim, 205 pp.
- Schmidt, E., 1951, A non-destructive concrete tester. *Concrete*, 59(8): 34-35.
- Schoeller, H., 1962, *Les eaux souterraines*, Masson & cie, Paris, 642 pp.
- Schoeller, H., 1982, Sur les eaux thermominérales et leur origine. In: Romariz, C. (ed.). *3ª Semana de Hidrogeologia*, Universidade de Lisboa. pp. 37-43.
- Schumm, S. A., 1977, *The fluvial system*. Wiley, New York, 338 pp.
- Schuurman, N., 2004, *GIS: a short introduction*, Blackwell Publishing, 169 pp.
- Seay, W. M., 1979, *Southern Appalachian Tectonic Study: Tennessee Valley Authority, Division of Water Management, Geologic Services Branch*, 66 pp.
-

- 
- Sener, E., Davraz, A. & Ozcelik, M., 2005, An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: A case study in Burdur, Turkey. *Hydrogeology Journal*, 13(5): 826-834.
- Shaban, A., Khawlie, M. & Abdallah, C., 2006, Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. *Hydrogeology Journal*, 14(4): 433-443.
- Shapiro, A. M., 2001, Effective matrix diffusion in kilometer-scale transport in fractured crystalline rock. *Water Resources Research*, 37(3): 507-522.
- Sidle, R. C. & Onda, Y., 2004, Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. *Hydrological Processes*, 18(4): 597-602.
- Silva, S., Caranova, R., Cabral, J. & Costa, A. M., 2006, Análise e interpretação de imagens de satélite Landsat TM 5 da região Norte de Portugal Continental, Actas do VII Congresso Nacional de Geologia. Pólo de Estremoz da Universidade de Évora, pp. 1133-1136.
- Singhal, B. B. & Gupta, R. P., 2010, *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Springer-Verlag GmbH, 408 pp.
- Sinha, B. K., Ashok, K., Srivastava, D. & Srivastava, S. K., 1990, Integrated approach for demarcating the fracture zone for well sit location-A case study near Gumla and Lohardaga, Bihar. *J. Indian Soc. Remote Sensing*, 18(3): 1-8.
- Šípek, V., Matoušková, M. & Dvořák, M., 2009, Comparative analysis of selected hydromorphological assessment methods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 169(1-4): 309-319.
- Sironneau, J., 1998, La guerre de l'eau aura-t-elle lieu? Ménaces et enjeux de l'hydropolitique. In: Margat, J. & Tiercelin, J. (eds.). *L'eau en question*. Romillat, pp. 245-295.
- Slob, S., Hack, R., van Knapen, B. & Kemeny, J., 2004, Automated identification and characterisation of discontinuity sets in outcropping rock masses using 3D terrestrial laser scan survey techniques. *in* Schubert, S., ed., *ISRM Eurock'2004 & 53rd Geomechanics Colloquium*. Verlag Glückauf GmbH, Salzburg, Austria, 5 pp.
- Smith, M., Paron, P. & Griffiths, J., 2011, *Geomorphological Mapping: Methods and Applications*. Elsevier Science & Technology, 610 p.
- Soares de Carvalho, G., 1992, Depósitos quaternários e cenozóico indiferenciado, In: Pereira, E. (Coord.) *Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal na escala 1/200.000, Folha 1, Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, pp. 47-50.
- Soares, J., Rodrigues, L., Viegas, L., Lima, L. P. & Fonseca, E. C., 1985, Cartografia de imagens geoquímicas por filtragem linear: aplicação à área de Fundação-Penamacor. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, Lisboa, 71(2): 223-230.
- Soares, L. M. P. M., 2008, A importância das formações superficiais no âmbito dos processos de erosão hídrica e movimentos de vertente no NW de Portugal. Universidade do Porto, Tese de Doutorado, 861 pp. + 4mapas.
- Sophocleous, M., 2002, Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal*, 10(1): 52-67.
- Sreedevi, P. D., Subrahmanyam, K. & Ahmed, S., 2005, Integrated approach for delineating potential zones to explore for groundwater in the Pageru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, India. *Hydrogeology Journal*, 13(3): 534-543.
- Srinivasa Rao, Y., Krishna Raddy, T. V. & Nayudu, P. T., 1997, Hydrogeomorphological studies by remote sensing Application in Niva River basin, Chittoor District, Andhra Pradesh. *Photonirvachak J. Indian Soc. Rem. Sensing*, 25(3): 187-194.
- Strahler, A. N., 1980, Systems theory in physical geography. *Physical Geography*, 1:1-27.
- Struckmeier, W. F. & Margat, J., 1995, *Hydrogeological maps: a guide and a standard legend*, International Association of Hydrogeologists, Hannover, 177 pp.
- Surette, M., Allen, D. & Journeay, M., 2008, Regional evaluation of hydraulic properties in variably fractured rock using a hydrostructural domain approach. *Hydrogeology Journal*, 16(1): 11-30.
- TARH, 2005, Estudo hidrogeológico da concessão hidromineral HM-11 Caldas da Cavaca e terrenos envolventes. TARH - Terra, Ambiente & Recursos Hídricos, Lda., Lisboa, 42 pp. + anexos.
- TARH, 2010, Estudo Hidrogeológico da área da Noninha - Águas de Arouca. TARH - Terra, Ambiente & Recursos Hídricos, Lda., Lisboa, 33 pp. + anexos.
- Taylor, R. G. & Howard, K. W. F., 1998, Post-Palaeozoic evolution of weathered landsurfaces in Uganda by tectonically controlled cycles of deep weathering and stripping. *Geomorphology*, 25: 173-192.
- Taylor, R. G. & Howard, K. W. F., 1999a, Lithological evidence for then evolution of deeply weathered landsurfaces in Uganda by tectonically controlled cycles of deep weathering and stripping. *Catena*, 35(1): 65-94.
- Taylor, R. G. & Howard, K. W. F., 1999b, The influence of tectonic setting on the hydrological characteristics of deeply weathered terrains: evidence from Uganda. *J. Hydrology*, 218: 44-71.
- Taylor, R. G. & Howard, K. W. F., 2000, A tectono-geomorphic model of the hydrogeology of deeply weathered crystalline rock: evidence from Uganda. *Hydrogeology J.*, 8: 279-294.
- Teixeira, C., Santos, J. P., Teixeira Lopes, J. V., 1958, Reconhecimento geológico da região entre Maceira e Ameias, a Norte de Fornos de Algodres, *Revista da Faculdade de Ciências - 2ª série, C: Ciências Naturais*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, VI: 237-244.
- Teixeira, C., 1981, *Geologia de Portugal: Precâmbrico-Paleozóico*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 629 pp.
- Teixeira, C., Fernandes, A. P., Peres, A. M. & Ribeiro, A., 1967, *Carta Geológica de Portugal, escala 1/50000. Folha 10-C (Peso da Régua)*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
-

- 
- Teixeira, C., Medeiros, A. C. & Fernandes, A. P., 1968, Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000. Folha 14-A (Lamego), Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Teixeira, C., Medeiros, A. C. & Fernandes, A. P., 1969, Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000. Folha 14-A (Lamego), Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Teixeira, C., Santos, J. S. P., Lopes, J. V. T. & Pereira, V. M. C., 1972, Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000. (Folha 14-D) Aguiar da Beira, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Teixeira, J., Gomes, A., Araújo, M. A., Chaminé, H. I., Fonseca, P. E., Gama Pereira, L. C., Pinto de Jesus, A., Coelho, A., Soares de Andrade, A. & Rocha, F. T., 2006, Relevos quartzíticos do domínio estrutural de Caldas de S. Jorge–Carvoeiro–Águeda (NW de Portugal): uma caracterização geomorfológica e geotectónica preliminar. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos - APGeom, Actas do 2º Congresso Nacional de Geomorfologia, 3: 77-83.
- Teixeira, J., Gomes, A., Chaminé, H. I. & Rocha, F. T., 2007, Geomorfologia e morfotectónica de relevos quartzíticos: a megaestrutura de Caldas de S. Jorge - Águeda, NW de Portugal, Xeográfica: revista de xeografia, territorio e medio ambiente. Universidade de Santiago de Compostela, Espanha, 7: 107-133 p.
- Teixeira, J., Gomes, A., Carvalho, J. M. & Chaminé, H., 2009a, Cartografia hidrogeomorfológica aplicada à gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos: exemplos de áreas graníticas no Norte e Centro de Portugal. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos - APGeom, 6: 231-236.
- Teixeira, J., Pires, A., Afonso, M. J., Rocha, F. & Carvalho, J. M., 2009b, A importância da cartografia hidrogeológica e hidrogeomorfológica na caracterização de recursos hidrominerais. *in* Nunes, J. C., Carvalho, J. M., and Rubio, R. F. (eds.), Termalismo e águas engarrafadas, perspectiva pluridisciplinar. Actas do Encontro Internacional de Termalismo e Turismo Termal & III Fórum Ibérico de Águas Engarrafadas e Termalismo, Furnas (Açores). Ponta Delgada, INOVA, pp. 381-390.
- Teixeira, J., Chaminé, H. I., Espinha Marques, J., Gomes, A., Carvalho, J. M., Pérez Albertí, A. & Rocha, F., 2010a, Integrated approach of hydrogeomorphology and GIS mapping to the evaluation of ground water resources: an example from the hydromineral system of Caldas da Cavaca, NW Portugal. *in* Paliwal, B. S., ed., Global Groundwater Resources and Management, Selected Papers from the 33rd International Geological Congress, General Symposium: Hydrogeology. Oslo (Norway) Scientific Publishers (India), Jodhpur, pp. 227-249.
- Teixeira, J., Rodrigues, C., Moreira, P., Santos Silva, R., Pires, A., Freitas, L., Carvalho, J. M. & Chaminé, H. I., 2010b, A importância das bases de dados geográficas na inventariação de recursos hidrominerais: o projecto TERMARED (INTERREG IV-B SUDOE). *in* Bateira, C., Soares, L. M. P. M., Gomes, A., & Chaminé, H. I., eds., Actas do V Congresso Nacional de Geomorfologia. Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Porto, 257-259 p.
- Tenthorey, E., Cox, S. F. & Todd, H. F., 2003, Evolution of strength recovery and permeability during fluid-rock reaction in experimental fault zones. *Earth and Planetary Science Letters*, 206(1-2): 161-172.
- TERMARED, 2011, Catálogo de águas termais do espaço SUDOE. SUDOE -Programa de Coperação Territorial do Espaço Sudoeste Europeu, 135 pp.
- Terzaghi, R. D., 1965, Sources of errors in joint surveys. *Geotechnique*, 15(3): 287-304.
- Thadeu, D., 1949, A cordilheira central entre as serras da Gardunha e de São-Pedro-do Açor. *Bol. Soc. Geol. Portg.*, Porto, 8(1/2): 1-20.
- Thomas, A., Sharma, P., Sharma, M. & Sood, A., 1999, Hydrogeomorphological mapping in assessing ground water by using remote sensing data — A case study in lehra gaga block, sangrur district, Punjab. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 27(1): 31-42.
- Thorntwaite, C. W., 1948, An approach toward a rational classification of climate: *Geographical Review*. 38: 55–94.
- Thorntwaite, C. W. & Mather, J. R., 1955, *The water balance*. Publications in climatology, New Jersey, 104 pp.
- Tricart, J., 1958, Géomorphologie et aménagement hydrauliques. *L'universitaire, Sciences et Techniques*, Alexandrie, 1: 31-46.
- Tricart, J., 1962, *L'épiderme de la Terre, esquisse d'une géomorphologie appliquée*. Masson, Paris, 167 pp.
- Tricart, J., 1963, *Géomorphologie et eaux souterraines*, Paris, 6 pp.
- Tricart, J., 1973, La géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel. *Annales de Géographie*, pp. 420-453.
- Tricart, J., 1978, *Geomorphologie applicable*, Paris: Masson, 204 pp.
- Tricart, J., Cloots-Hirsch, A.-R. & Griesbach, J. C., 1965, *Géomorphologie et eaux souterraines dans le bassin de Santiago du Chili, T.I.L.A.S. (Travaux de l'Institut d'Études latino-américaines de l'Université de Strasbourg)*, pp. 605-674 + cartes.
- Twidale, C. R. & Vidal Romaní, J. R., 2005, *Landforms and geology of granite terrains*, Taylor & Francis, Oxfordshire, 359 pp.
- UNESCO/AIHS/AIH, 1983, *International legend for hydrogeological maps*. Revised version., UNESCO, Paris, 51 pp.
- UNESCO/IHP - International Hydrological Programme (IHP) of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2006, *Urban water conflicts: an analysis of the origins and nature of water-related unrest and conflicts in the urban context*. 182 pp..
- UNESCO/WMO, 1977, *Hydrological maps: A contribution to the International Hydrological Decade*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris, 204 pp.
-

- 
- USGS - United States Geological Survey, 2011, The Water Cycle (<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>). Acesso em 25-10-2010.
- Vazquez, M., Abad, I., Jimenez-Millan, J., Rocha, F. T., Fonseca, P. E. & Chaminé, H. I., 2007, Prograde epizonal clay mineral assemblages and retrograde alteration in tectonic basins controlled by major strike-slip zones (W Iberian Variscan chain). *Clay Minerals*, 42(1): 109-128.
- Vera, J. A., 2004, *Geología de España*. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España, Salamanca, 844 pp.
- Vergarra, M. L. L., 1988, *Manual de Fotogeología*. Publicaciones Científicas del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales Y Tecnológicas (C.I.E.M.A.T.), Madrid, 306 pp.
- Vicente, G. & Vegas, R., 2009, Large-scale distributed deformation controlled topography along the western Africa Eurasia limit: tectonic constraints. *Tectonophysics*, 474: 124-143.
- Vidal Romaní, J. R. & Vaquero, M., 2007, Types of granite cavities and associated speleothems: genesis and evolution. *Nature Conservation*, 63(6): 41-46.
- Vieira, A., 2001, Serra de Montemuro: Contributo da Geomorfologia para a análise da paisagem enquanto recurso turístico. Universidade de Coimbra, Tese de mestrado, 212 pp.
- Vieira, A., 2003, Alguns aspectos da paisagem da Serra de Montemuro. Formas de pormenor do modelado granítico. Livro de Homenagem a José Miguel Carreira Amarelo, Publicações da Escola Superior de Educação da Guarda, pp. 193-211.
- Vieira, A., 2008, Serra de Montemuro: dinâmicas geomorfológicas, evolução da paisagem e património natural. tese de doutoramento, Universidade de Coimbra 660 pp. + anexos.
- Viles, H., Goudie, A., Grab, S. & Lalley, J., 2011, The use of the Schmidt Hammer and Equotip for rock hardness assessment in geomorphology and heritage science: a comparative analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(3): 320-333.
- Vogel, R. M., 2011, Hydrogeomorphology. *J. Water Resources Planning Manage.*, 137: 147-149.
- Weight, W. D. & Sonderegger, J. L., 2001, *Manual of applied field hydrogeology*. McGraw-Hill, 608 pp.
- West, G., 1991, *The field description of engineering soils and rocks*. Open University Press, 144 pp.
- White, D. E., 1957, Magmatic, Connate and Metamorphic Waters. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 68(12): 1659-1682.
- White, W. B., 1999, *Conceptual Models for Karstic Aquifers*. Karst Waters Institute Special Publication 5. Charlottesville, VA, pp. 11-16.
- Wilding, L. P. & Lin, H., 2006, Advancing the frontiers of soil science towards a geoscience. *Geoderma*, v. 131, p. 257-274.
- Wilson, J. & Gallant, J., 2000, *Terrain Analysis: Principles and Applications*, John Wilson & Sons, Inc., New York, 479 pp.
- Wittwer, C. S., Chen, G. & Bodvarsson, G. S., 1993, Studies of the role of fault zones in fluid flow using the site-scale numerical model of Yucca Mountain. Fourth International High Level Radioactive Waste Management Conference, American Nuclear Society, Las Grange Park, IL, pp. 667-674.
- Woodruff, C. M., Jr., Caran, S. C., Gever, C., Henry, C. D., Macperson, G. L. & McBride, M. W., 1982, *Geothermal Resource Assessment for the State of Texas*: Bureau of Economic Geology. Austin, Texas.
- World Bank, 2004, *Water resources sector strategy: strategic directions for world bank engagement*, World Bank Publications, Washington, 100 pp.
- Wright, E. P. & Burgess, W. G., 1992, *The hydrogeology of crystalline basement aquifers in Africa*. Geological Society Special Publications, 68, GSL, London, 264 pp.
- Xu, G., 2007, *GPS: theory, algorithms, and applications*. Springer, 340 pp.
- Xunta de Galicia, 1995, *Las aguas minerales en Galicia*. Consellería de Industria e Comercio, Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, 205 pp.
- Yeh, H.-F., Lee, C.-H., Hsu, K.-C. & Chang, P.-H., 2009, GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. *Environmental Geology*, 58(1): 185-195.
- Yin, G. U. & Brook, G. A., 1992, The topographic approach to locating high-yield wells in crystalline rocks: does it work? . *Ground Water*, 30(1): 96-102.



---

## **Anexos**



---

## **Anexos (ver CD-ROM)**

Anexo 1 - Catálogo de águas termais do espaço SUDOE (Projecto TERMARED).

Anexo 2 – Fichas de levantamento geológico e hidrogeotécnico da área das Caldas da Cavaca.

Anexo 3 – Fichas de inventário hidrogeológico da área das Caldas da Cavaca.

Anexo 4 – Perfis esquemáticos das sondagens de pesquisa de água subterrânea realizadas na área das Caldas da Cavaca.

Anexo 5 – Fichas de levantamento geológico e hidrogeotécnico da área da Noninha.

Anexo 6 – Fichas de inventário hidrogeológico da área da Noninha.

Anexo 7 – Fichas de inventário hidrogeológico da área de Entre-os-Rios.

Anexo 8 – Fichas de inventário hidrogeológico da área do Alardo.

Anexo 9 – Perfis esquemáticos das sondagens de pesquisa de água subterrânea realizadas na área do Alardo.

Outros anexos só estão disponíveis para consulta através do CD-ROM.  
Queira por favor dirigir-se ao balcão de atendimento da Biblioteca.

Serviços de Biblioteca, Informação Documental e Museologia  
Universidade de Aveiro