



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Departamento de Ciências da Terra

**HIDROGEOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS
SUBTERRÂNEOS NA BACIA HIDROGRÁFICA
DA RIBEIRA DE ANÇÃ, CANTANHEDE**

André Almeida Paiva

MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS

Área de especialização em Recursos Geológicos

Orientação científica

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

Doutora Paula Cristina Soares Garcia Mendes,
ARH-Centro, Agência Portuguesa do Ambiente

Coimbra, Julho, 2015

*Por opção do autor, esta dissertação foi escrita de acordo com as regras anteriores ao novo acordo ortográfico.

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação de Mestrado é o resultado do apoio e colaboração de diferentes pessoas e instituições, a quem dirijo os meus mais sinceros agradecimentos:

Um especial agradecimento ao Professor Doutor José Manuel Azevedo, orientador desta dissertação, pela amizade, disponibilidade e dedicação demonstradas, sugestões, esforços e ensinamentos ao longo do Mestrado.

À Agência Portuguesa do Ambiente (APA), na pessoa da Doutora Celina Carvalho (APA, ARH-Centro), pela disponibilidade e cortesia na visita às instalações da instituição que dirige. À Doutora Paula Garcia (APA, ARH-Centro), pela simpatia e por todo o apoio dado aquando da recolha de informação datal indispensável à realização desta tese. Ao Engenheiro Pedro Sobral por todo o apoio dado aquando da cedência bibliográfica do acervo da instituição (APA, ARH-Centro).

Ao Professor Doutor António Alberto Gomes, da Universidade do Porto, pela amizade e pela solicitude que sempre demonstrou durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Doutor Fernando Carlos Lopes e à Professora Doutora Ana Castilho, pela atenção e dicas sugeridas aquando da realização de algumas etapas da dissertação.

Ao Professor Doutor Pedro Proença e Cunha, pelo apoio e empatia manifestados durante a minha decisão de mudança de tese e por todos os conhecimentos adquiridos nos projectos científicos em que me envolveu.

A todos os Professores que, ao longo destes anos, contribuíram para a minha formação académica, bem como a todos os funcionários do Departamento de Ciências da Terra.

A todos os meus amigos e colegas de curso, pelo companheirismo, ajuda e disponibilidade para solicitações, durante a feitura deste trabalho.

À minha família, em particular aos meus pais, pelo carinho e incentivo com que prendaram o meu percurso escolar e académico.

(...) Quando olhei para o copo e constatei que o «copo» só poderia ser definido enquanto tal por aquilo que continha, ou, melhor dizendo, pela sua utilidade em conter algo (...). Estava concentradíssimo e, subitamente, distraí-me (o que era expectável, dado o cansaço acumulado). Pousei o lápis sobre a folha rasurada, olhei para os gatafunhos e depois para o copo com água que também pusera sobre a secretária de trabalho onde, agora, apoiava os cotovelos... Antes deste assomo de desconcentração, eu descera as escadas, entrara na cozinha, esticara o braço, agarrara um dos copos da prateleira do armário e enchera-o com água da torneira. E sabia que o copo nunca fora utilizado (pois era novo), e perguntei-me se (isto antes de o encher), face a esse facto, deveria, ou não, tê-lo apelidado de «copo». E questionei-me se caso tivesse enchido o «copo» com terra, também o poderia ter considerado um «copo». E intuí que não, pois haveria uma convenção semântica em torno do objecto (ou o objecto em torno da convenção, não sei). E depois deixei-me de tão abstrusos devaneios (havia fadiga mental; ou não me apetecia destrinçar mais o assunto) e olhei para a água do copo (inodora, incolor, insípida e tudo o mais que a definia enquanto objecto de estudo)... Antes de olhar para o copo, abrira a toneira – a água com a qual enchera o copo circulara pelas canalizações do esqueleto do prédio – mas antes de aí chegar, sabia que circulara pelos tubos da rede de distribuição pública, e antes disso fora armazenada na cisterna da torre do reservatório de água mais próximo, e antes disso sofrera filtração e decantação e floculação (e outras coisas quejandas) numa estação de tratamento de águas, e antes disso tinha sido bombeada através de um furo para captação de águas, e antes disso tinha estado a cerca de oitenta metros de profundidade, num qualquer interstício do maciço rochoso, poroso (conhecido, na gíria científica, por “aquífero”), confinada a um espaço, quiçá infinitamente coercível (se é que isto faz sentido) cuja caracterização roçaria o perfeito inominável e até inconcebível. E depois ainda cisme sobre qual teria sido o percurso dessa água até esse poro. E antes de ter dado ênfase a novo raciocínio, apercebi-me de que me repetia tautológica e pretensiosamente, acabando por concluir (e terminar a perlanga comigo mesmo) que o estudo do objecto de estudo nunca seria irrevogável, padecendo, portanto, de contínua reestruturação (conclusão que me agradou). E matutei numa última coisa... Afinal, nem estivera desconcentrado, mas apenas concentrado num outro assunto, que, a bem dizer, nem me afastava muito do assunto em causa: a minha dissertação científica, subordinada – indirectamente (ou não) – ao estudo da água que se verte para um copo. Por isso, e também porque estava sequioso, peguei no copo que tinha enchido de água e que pusera sobre a secretária, bebi a água, e finalizei a dissertação com esta mesma frase.

André Paiva,
9 de Julho de 2015

RESUMO

A dissertação tem como objectivo principal o estudo hidrogeológico da bacia hidrográfica da Ribeira de Ançã, e procura dar um contributo para o esclarecimento da hidrodinâmica subterrânea na área estudada. O Sistema Aquífero de Ançã-Cantanhede (O4) – de natureza cársica e totalmente, englobado na região em estudo constitui o principal alvo do estudo.

Apoiado no conhecimento teórico existente sobre a área em estudo e sobre a região enquadrante, foram realizados reconhecimentos de campo, nomeadamente de natureza geológica, geomorfológica e estrutural, de modo a poder cabalmente relacionar os aspectos identificados com o conjunto de feições e processos hidrogeológicos que caracterizam o meio subterrâneo local e, em particular, o Sistema Aquífero de Ançã-Cantanhede. Os elementos acima referidos, com suporte em informação datal recolhida em relatórios e logs (com localização, dimensionamento e litologias atravessadas) de furos para captação de água implantados na área de estudo – dados cedidos pela APA, ARH-Centro – possibilitaram a realização de modelos hidrogeológicos conceptuais e permitiram as seguintes conclusões: (1) a identificação de numerosas unidades aquíferas, agrupáveis em (1a) aquíferos porosos associados às formações detríticas de **a**, **P**, **C¹⁻²** e (1b) aquíferos cársicos, implantados nas formações carbonatadas de **J²_{ab}**; (2) o sistema aquífero cársico inclui 3 níveis produtivos, ficando em aberto a possibilidade de existência de um quarto nível mais profundo; (3) a hidrodinâmica subterrânea do sistema cársico efectua-se, em termos gerais, de NW para SW; (4) as relações hidráulicas entre as unidades aquíferas porosas e o sistema cársico são fortemente incrementadas pela ocorrência de uma superfície paleocársica no contacto geológico entre **C¹⁻²** e **J²_{ab}**; (5) a provável ocorrência de uma relação hidrodinâmica importante entre o Sistema Aquífero de Ançã-Cantanhede e o Sistema Aquífero O5 – Tentúgal; (6) a possibilidade das unidades aquíferas cársicos de **J²_{ab}** evoluírem para SE extravasando os limites actualmente definidos para o Sistema aquífero Ançã-Cantanhede.

A investigação efectuada permitiu ainda refinar a compreensão da realidade geológica, estrutural e hidrogeológica locais e relevar a riqueza dos recursos hídricos subterrâneos na região de Cantanhede-Ançã e prever/propor intervenções e investigações futuras.

Palavras-chave: Ançã, bacia hidrográfica, hidrogeologia, aquífero, modelação conceptual.

ABSTRACT

The aim of this dissertation is to provide a hydrogeological study of Ribeira de Ançã's hydrographic basin, regarding the subsurface water hydrodynamic characterization, as well as the Aquifer System O4 – Ançã-Cantanhede –, of karstic nature, located within the area of study.

Based on the theoretical information gathered, concerning the area of study – in terms of geology, geomorphology and structural geology – a research was undertaken with the purpose of correlating the mentioned data with the hydrogeological features of the local aquifer system. Thanks to the data recovered from water wells within the area of study (geographic distribution, depth, lithological log), kindly granted by APA – ARH-Centro, one was able to generate conceptual modelling of the karstic aquifer and take the following conclusions: (1) there are numerous aquifer units, that were grouped into (1a) porous aquifers associated with the terrigenous formations of **a, P, C¹⁻²** (1b) karst aquifers implanted in carbonate formations - **J²_{ab}**; (2) the karst aquifer system includes 3 production levels, leaving open the possibility of a fourth deeper level; (3) the underground hydrodynamic Karst system is carried out, in general terms, NW-SW; (4) the hydraulic relations between the porous aquifer units and the Karst system are greatly enhanced by the occurrence of a paleokarstic surface in the contact between **C¹⁻²** and **J²_{ab}**; (5) the likely occurrence of a major hydrodynamic relationship between the Aquifer system of Ançã-Cantanhede and Aquifer System O5 - Tentúgal; (6) the possibility of the units of the karstic aquifers of **J²_{ab}** evolve to SE, surpassing the limits currently set for the aquifer system Ançã-Cantanhede.

Thus, the present research has allowed to understand the geological, structural and hydrogeological reality associated to the subsurface hydric resources of Cantanhede-Ançã region and propose/predict future interventions and investigations.

Key-words: Ançã, hydrographic basin, hydrogeology, aquifer, conceptual modelling.

ÍNDICE

1. Capítulo I – Introdução	1
1.1 Importância e enquadramento do tema estudado	1
1.2 Área de estudo	2
1.3 Objectivos	2
1.4 Estudos anteriores	3
1.5 Estrutura geral da dissertação	3
2. Capítulo II - Fundamentos teóricos.....	4
2.1 Conceitos gerais de Geologia	4
2.2 Conceitos gerais de Hidrografia e Hidrogeologia	6
3. Capítulo III – Enquadramento geral da área de estudo.....	12
3.1 Geográfico e administrativo	12
3.2 Topográfico.....	14
3.3 Climatológico	16
3.4 Geológico	16
3.4.1 Breve nota sobre a variabilidade litológica das unidades dos calcários do Jurássico Médio (J_{ab}^2)	23
3.5 Tectónico-estrutural e Geomorfológico.....	24
3.5.1 Tectónico-estrutural	24
3.5.2 Geomorfológico	28
3.6 Uso e ocupação do solo.....	34
4. Capítulo IV – Metodologias.....	35
4.1 Pesquisa bibliográfica, documental e cartográfica.....	35
4.2 Actividades de campo.....	35
4.3 Análise e tratamento de dados de furos para captação de água.....	36
4.4 Quadro metodológico-síntese	43
5. Capítulo V – Hidrologia.....	44
5.1 Hidrografia	44
5.2. Hidroclimatologia e Balanço hídrico local	47
5.3 Hidrogeologia.....	49
5.3.1 Enquadramento hidrogeológico.....	49
5.3.2 Classificação hidrogeológica e caracterização das unidades aquíferas.....	50
5.3.3 Hidrodinâmica do Sistema Aquífero Ançã-Cantanhede (O4)	53
6. Capítulo VI – Modelação hidrogeológica conceptual, Conclusões e Recomendações.....	59

6.1 Modelação hidrogeológica conceptual	59
6.1.1 Modelação sectorial.....	59
6.1.2 Modelação 3D do sistema aquífero cársico J_{ab}^2	66
6.1.3 Questão das pedreiras de Portunhos	70
6.2 Conclusões e recomendações	73
6.2.1 Conclusões	73
6.2.2 Recomendações e projectos futuros	74
6.3 Síntese autocrítica e reflexão.....	76
7. Capítulo VII – Referências bibliográficas	77
ANEXOS	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquemática da morfologia do maciço cársico	5
Figura 2.2 – Bloco-diagrama ilustrando um tipo de paisagem cársica (adaptado de Goldscheider & Drew, 2007, p. 264).....	9
Figura 3.1 – Enquadramento geográfico e administrativo da área em estudo (I), (adaptado de CCDRC, 2015 e de APA, 2015)	12
Figura 3.2 – Enquadramento geográfico e administrativo da área em estudo (II), (adaptado de CCDRC, 2015 e de APA, 2015)	13
Figura 3.3 – Enquadramento topográfico geral, a partir da Carta Militar (folhas n.º 218 e n.º 229).....	14
Figura 3.4 – Rede viária dentro da área de estudo a partir da Carta Militar (folhas n.º 218 e n.º 229).....	15
Figura 3.5 – Mapa com um modelo MDT (classes de relevo da área de estudo, em metros), produzido a partir da Carta Militar (folhas n.º 218 e n.º 229).....	15
Figura 3.6 – Variações da temperatura, precipitação média anual e ETR para a área em estudo (adaptado de PBRH4, 2012).....	16
Figura 3.7 – Localização da área de estudo no mapa das zonas geotectónicas fundamentais de Portugal, à escala de 1:500 000 (adaptado de “Vivaageologia.blogspot”, 2012).....	17
Figura 3.8 – Enquadramento geológico regional da área de estudo, representado na Folha N da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1:500 000 (Oliveira <i>et al.</i> , 1992) e na folha 19-A, Cantanhede, da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1:50 000 (Barbosa <i>et al.</i> , 1998)	18
Figura 3.9 – Mapa das litologias da área de estudo (adaptado da folha 19-A, Cantanhede, da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1: 50 000 (Barbosa <i>et al.</i> , 1998).....	19
Figura 3.10 – Fotografias das principais unidades geológicas aflorantes na área de estudo	22
Figura 3.11 – Diferenças texturais entre os diferentes tipos de calcários do Jurássico Médio (J^2_{ab}).....	24
Figura 3.12 – Mapas tectónicos interpretativos com indicação dos principais alinhamentos estruturais e zonas de fracturação identificados na área de estudo.....	25
Figura 3.13 – Mapa estrutural do domínio estudado e aspectos de campo das camadas calcárias do Jurássico Médio.....	27
Figura 3.14 – “As principais etapas evolutivas do Planalto de Cantanhede” (adaptado de Dimuccio & Cunha, 1999, p. 10).....	29
Figura 3.15 – Exemplos de morfologias cársicas conhecidas – grutas	30

Figura 3.16 – Aspectos estruturais mais significativos em taludes de pedreiras da área de estudo	31
Figura 3.17 – Aspectos de pormenor associados ao modelado cársico (I)	32
Figura 3.18 – Aspectos de pormenor associados ao modelado cársico (II)	33
Figura 4.1 – Localização dos 35 furos seleccionados sobre as folhas n.º 218-Cantanhede e n.º 229-Ançã da Carta Militar de Portugal.....	37
Figura 4.2 – Distribuição espacial dos 16 furos seleccionados para o presente estudo.....	38
Figura 4.3 – Exemplo dos <i>logs</i> da sondagem de dois furos.....	39
Figura 4.4 – Exemplos de <i>Logs</i> de duas sondagens, redesenhados e reinterpretados	40
Figura 4.5 – Exemplos de alteração do maciço calcário da frente de exploração de antigas pedreiras, nas proximidades do contacto geológico entre J_1^2 e J_{ab}^2	41
Figura 4.6 – Quadro-síntese com a metodologia seguida nesta dissertação	43
Figura 5.1 – Área de estudo com inclusão da rede hidrográfica e lagoas associadas às indústrias extractivas (adaptado da Carta Militar – folhas nº 218 e nº 229)	44
Figura 5.2 – Cortes transversais no vale de RA. De notar os vales de paredes abruptas, associados, provavelmente, a zonas de fracturação	46
Figura 5.3 – Perfil longitudinal de RA (as quebras no perfil não correspondem, necessariamente, a zonas de degraus altimétricos no leito do rio; poderão ser erros de leitura cartográfica).....	47
Figura 5.4 – Diferentes aspectos de algumas linhas de água da zona de estudo, ao longo dos meses de Fevereiro e Abril	48
Figura 5.5 – Localização do sistema aquífero no contexto das bacias hidrográficas da Região Centro – Unidade hidrogeológica da Orla Ocidental (adaptado de APA, 2015 e de SNHIR, 2015).....	50
Figura 5.6 – Localização de alguns poços, na área de estudo, em unidades aquíferas freáticas (não confinadas)	52
Figura 5.7 – Esquema interpretativo da circulação hídrica subterrânea no edifício cársico da área de estudo (adaptado de CMR, n.d.)	55
Figura 5.8 – Localização das nascentes existentes na área de estudo	56
Figura 5.9 – Localização e fotografias da nascente do Olho da Grotta.....	57
Figura 5.10 – Carta interpretativa do sentido geral do escoamento hídrico subterrâneo no sistema aquífero cársico da área de estudo	58
Figura 6.1 – Localização dos três perfis hidrogeológicos (AB, CD e EF) construídos para a área de estudo	60
Figura 6.2 – Perfil hidrogeológico CD interpretativo das unidades aquíferas presentes em P e C^{1-2} . (localização na Figura 6.1).....	61

Figura 6.3 – Perfil hidrogeológico EF interpretativo das unidades aquíferas presentes em C ¹⁻² . (localização na Figura 6.1)	62
Figura 6.4 – Lagoa de Outil, exemplo do “afioramento” do nível piezométrico de um aquífero suspenso implantado na unidade C ¹⁻²	63
Figura 6.5 – Perfil hidrogeológico EF interpretativo do sistema aquífero presente em J ² _{ab} . (localização na Figura 6.1)	64
Figura 6.6 – Afioramento de J ² ₁ , muro da unidade aquífera J ² _{ab} , nas imediações da Póvoa da Lomba (fora da área de estudo)	65
Figura 6.7 – Primeiro modelo conceptual do sistema aquífero cársico implantado na unidade J ² _{ab}	66
Figura 6.8 – Segundo modelo conceptual para o sistema aquífero cársico implantado na unidade J ² _{ab}	68
Figura 6.9 – Terceiro modelo conceptual para o sistema aquífero cársico implantado na unidade J ² _{ab} . Representação dos Níveis i, ii, iii e iv	69
Figura 6.10 – Localização das pedreiras na zona de estudo e aspecto geral da pedreira da Cova da Moura, Portunhos (a fotografia de satélite data de 2011)	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Diferenças nas propriedades químicas e físico-mecânicas da “Pedra de Outil” e da “Pedra de Ançã” (adaptado de INETI, 2015)	23
Tabela 5.1 – Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica da Ribeira de Ançã (área estudada)	45
Tabela 5.2 – Parâmetros hidro-climatológicos e balanço hídrico na área de estudo.....	47
Tabela 5.3 – Caracterização hidrogeológica das formações da área de estudo	50
Tabela 5.4 – Unidades aquíferas aluvionares das Aluviões (a)	51
Tabela 5.5 – Unidades aquíferas aluvionares das Areias de Cordinhã (P)	51
Tabela 5.6 – Unidades aquíferas dos Arenitos de Carrascal (C^{1-2})	52
Tabela 5.7 – Unidades aquíferas dos Calcários de Ançã (J_{ab}^2).....	53
Tabela 5.8 – Caudal na Ribeira de Ançã	56

1. Capítulo I – Introdução

1.1 Importância e enquadramento do tema estudado

A água é a substância que sustenta e promove a vida.

A presença da água na Terra é fundamental para a manutenção do funcionamento dos ecossistemas e para o desenvolvimento social das comunidades antrópicas. A dinâmica da água entre os vários domínios terrestres - litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera - é transcrita através de um ciclo designado ciclo hidrológico.

A água é o líquido mais abundante no planeta, sendo que apenas 2,5% do volume total é água doce. Destes 2,5%, a parcela que corresponde às águas superficiais e sub-superficiais apenas atinge os 0,3% (Lvovich, 1979).

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

A água subterrânea, enquanto recurso, nem sempre foi considerada valiosa, sobretudo por integrar a parte não visível do ciclo hidrológico. Paradoxalmente, as reservas de água subterrânea são 300 vezes superiores às reservas de água superficial. A qualidade físico-química e biológica das águas subterrâneas, consequência do afastamento dos grandes focos contaminantes e do elevado tempo de residência entre os vazios da rocha, confere-lhes um estatuto importantíssimo no campo dos recursos hídricos (Hipólito & Vaz, 2011). O valor económico, social e político dos recursos hídricos subterrâneos é inegável, sendo premente a discussão da sua exploração a um ritmo sustentável. Por essa via, todas as actividades ligadas às águas subterrâneas requerem a conceptualização, monitorização e protecção da formação ou estrutura geológica que as contêm - o aquífero, a unidade fundamental da Hidrogeologia. Muitos aquíferos cuja hidrodinâmica é, infelizmente, pouco conhecida são geridos de maneira inconsequente e irresponsável (Quevauviller, 2008).

Os profissionais da Hidrogeologia executam tarefas a nível da investigação, pesquisa, captação e gestão das massas de água subterrâneas. A prospecção hidrogeológica reúne meios de estudo indirectos, tais como: reconhecimentos geológicos e geomorfológicos de terreno, cartografia geológico-estrutural, cartografia fotogeológica e hidrogeológica, rastreios hidroquímicos e levantamentos geofísicos (Castany, 1982; Fetter,

2001; Sanders, 1998; Assaad *et al.*, 2004). A modelação de sistemas hidrogeológicos, a partir de uma base georreferenciada, é hoje uma ferramenta rotineira do estudo hidrogeológico.

A Hidrogeologia é um dos ramos das Ciências geológicas que mais cresceu nas últimas décadas (Fetter, 2001). É a partir de um bom conhecimento hidrogeológico que se assegura uma boa gestão do recurso. No entanto, o incremento tecnológico e computacional tem promovido um descuro da componente basilar desta ciência – o trabalho de campo.

Procurando dar enfoque aos recursos hídricos subterrâneos, a presente dissertação, que se insere no Mestrado de Geociências – ramo de Recursos Geológicos – procura relacionar a geomorfologia e a caracterização geológico-estrutural de uma bacia hidrográfica – bacia hidrográfica da Ribeira de Ançã – com a Hidrogeologia e os recursos hídricos locais.

1.2 Área de estudo

A área de estudo situa-se na região da Beira Litoral, a poucos quilómetros a NE da cidade de Coimbra, sendo constituída pelos limites da bacia hidrográfica da ribeira de Ançã, afluente do rio Mondego. Os critérios que estiveram na base da sua escolha foram: (1) inserir-se na Região Centro e, conseqüentemente, situar-se nas proximidades da Universidade de Coimbra e da zona de residência, permitindo um fácil acesso; (2) a dimensão média da bacia hidrográfica ser adequada a um estudo desta natureza; (3) a diversidade nos enquadramentos de cariz geológico e hidrológico; (4) a existência de estudos regionais de base a nível geológico e hidrogeológico e a disponibilidade de acesso a novos dados hidrogeológicos, nomeadamente a dados de furos para captação de água.

1.3 Objectivos

Os objectivos da presente dissertação podem dividir-se em dois tipos – táticos e estratégicos:

- Os objectivos táticos compreendem: (1) a caracterização geológica, geomorfológica e hidrogeológica do domínio seleccionado; (2) a caracterização hidrodinâmica conceptual do sistema aquífero implantado no domínio em estudo;

- Os objectivos estratégicos compreendem: (1) o refinamento da geometria do sistema aquífero; (2) a avaliação das potencialidades das principais unidades aquíferas inseridas no

domínio de estudo; (3) perspectivação do uso e gestão das massas de água subterrâneas locais enquanto georrecurso.

1.4 Estudos anteriores

Os trabalhos de cariz estritamente científico desenvolvidos no âmbito da Geologia-Hidrogeologia na área de estudo e nos domínios envolventes são relativamente escassos. No conjunto destes estudos, há que destacar: (1) os estudos, de carácter essencialmente cartográfico e geológico, levados a cabo por Barbosa, B., Soares, A. F., Rocha, R. B., Manuppella, G. e Henriques, M. H., entre as décadas de 80 e 90; (2) os estudos desenvolvidos sobre o sistema aquífero da zona, entre 1998 e 2000, por Peixinho de Cristo, F., Almeida C., Mendonça, J. J. L., Jesus, M. R. e Gomes, A. J.; (3) os estudos no âmbito do modelado cárstico e geomorfologia da região, dirigidos por Dimuccio, L. A. e Cunha, L., ainda na década de 90, e os estudos desenvolvidos, ainda dentro da mesma temática, por Cunha, L., em 2003.

1.5 Estrutura geral da dissertação

A dissertação encontra-se estruturada em 7 capítulos. O presente capítulo – **Introdução (I)** – aborda as questões introdutórias, mormente os objectivos da dissertação e a identificação de estudos anteriores. O segundo capítulo – **Fundamentos teóricos (II)** – pretende providenciar uma síntese dos principais fundamentos teóricos no âmbito da Geologia e Hidrogeologia. No terceiro capítulo – **Enquadramento (III)** – fazem-se os enquadramentos regionais da área de estudo aos níveis geográfico e administrativo, topográfico, climatológico, geológico, geomorfológico e estrutural. O quarto capítulo – **Metodologias (IV)** – contempla uma breve abordagem metodológica, com o elenco dos processos, técnicas e ferramentas escolhidos para a realização deste estudo. No capítulo quinto – **Hidrologia (V)** – é feita a caracterização hidrográfica e hidrogeológica da área de estudo, esta última englobando a caracterização das unidades aquíferas e a descrição da hidrodinâmica do sistema aquífero local. No sexto capítulo – **Modelação hidrogeológica conceptual e conclusões (III)** – são apresentados modelos conceptuais do sistema aquífero (sectoriais e 3D), expostas as principais conclusões da dissertação e sugeridas propostas de intervenções e investigações futuras. O último capítulo engloba as **Referências bibliográficas (VII)**.

2. Capítulo II - Fundamentos teóricos

Neste capítulo são apresentados os principais fundamentos teóricos no âmbito da Geologia e Hidrogeologia de domínios cárnicos.

2.1 Conceitos gerais de Geologia

Considerando os enquadramentos do domínio escolhido para este estudo, caracterizado pela existência de terrenos de natureza carbonatada cársica, apresentam-se seguidamente alguns conceitos, no âmbito da Geologia/Geomorfologia.

O termo *cársico* deriva do nome de uma região calcária planáltica – *Karst* – e significa pavimento/chão de pedras calcárias. O **modelado cársico** designa um tipo de paisagem geológica no qual a litologia do substrato é de natureza carbonata (calcário ou dolomite). A **carsificação** é o nome dado à dissolução do calcário e sua progressiva alteração morfológica.

O modelado cársico é tipicamente caracterizado pela existência: (1) de um sistema externo de drenagem incipiente, muitas vezes sazonal; (2) de uma superfície pedológica descontínua ou pouco desenvolvida; (3) de depressões abundantes, de que são exemplo os *sinkholes* (algares), dolinas e outras formas peculiares (*lapiás*); (4) de um sistema interno de circulação hídrica complexo, com condutas, grutas e exurgências. A carsificação é um fenómeno que está relacionado, genericamente falando, com os seguintes factores (Jakucs, 1977; Cristofolletti, 1980; Summerfield, 1991):

Litologia: a carsificação não ocorre em rochas cuja pureza, em carbonatos, não seja menor que 80%; a reacção química que representa a dissolução do carbonato de cálcio é a seguinte (1), (Derruau, 1988):



Estrutura e morfologia: a existência de uma considerável espessura de rochas solúveis, estratificadas, fissuradas e fracturadas, que permitam que a água superficial se infiltre e promova a alteração química do maciço (Figura 2.1); a formação de largas condutas associadas a planos de fractura ou estratificação aumenta a condutividade hidráulica global e causa rápidas e grandes flutuações no nível freático – aumentando a dissolução da rocha (Fetter, 1994).

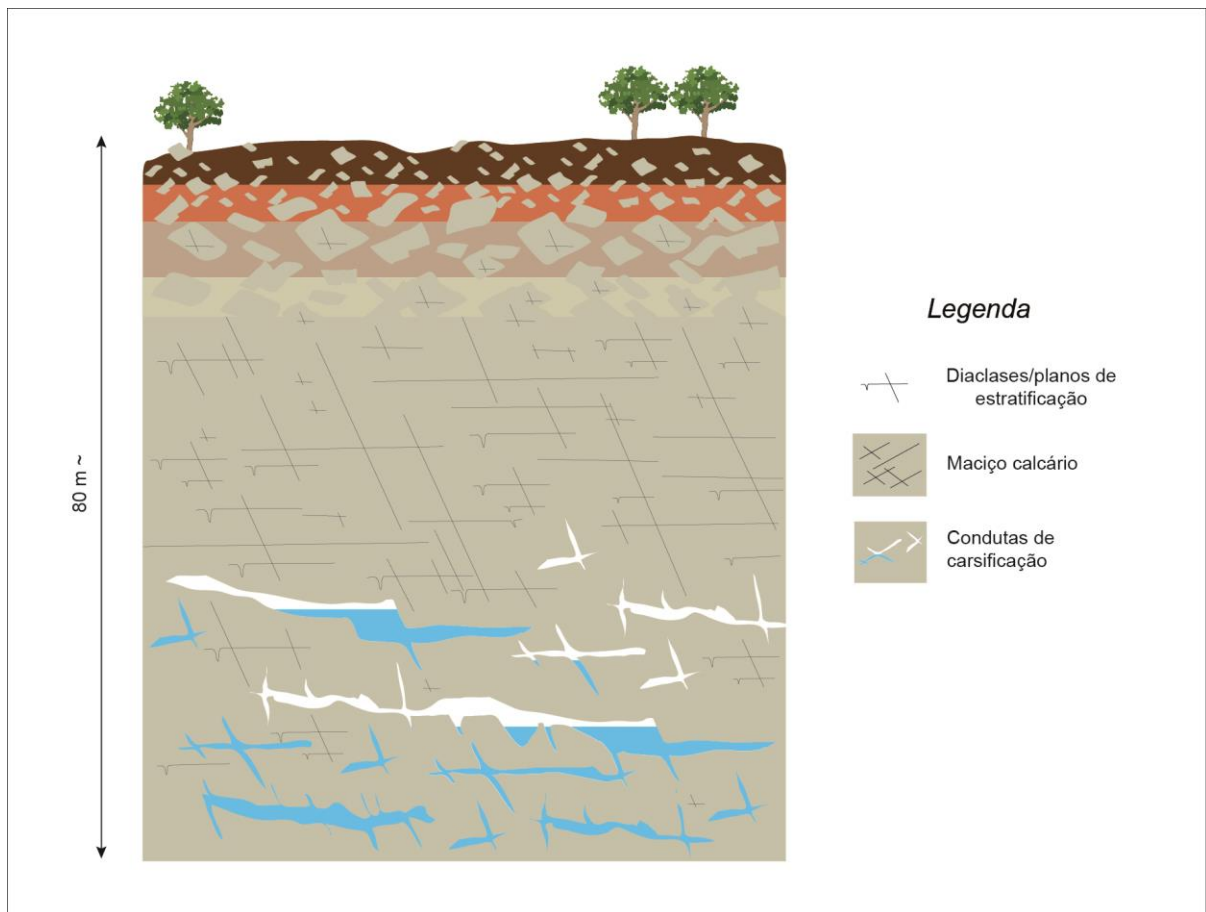


Figura 2.1 – Esquemática da morfologia do maciço cársico

As condições climáticas (precipitação e temperatura): a existência de precipitação atmosférica moderada é essencial. Ademais, é necessário que a água possua um comportamento ácido (adquirido através da incorporação/dissolução do CO_2 atmosférico). O teor em CO_2 na água é, por sua vez, dependente da temperatura, variando na razão inversa desta.

Amplitude topográfica: a elevação da superfície carbonatada acima do nível do mar deve ser considerável, de modo a permitir a livre circulação das águas subterrâneas. O soerguimento e consequente deformação de uma plataforma carbonatada acelera a promoção de efeitos cársicos na medida em que: (1) a densidade de fracturas aumenta; (2) após qualquer período de soerguimento topográfico regional há um aumento da precipitação atmosférica; (3) a intensificação do relevo aumenta os gradientes piezométricos. Em Portugal, por exemplo, só nos últimos 18 000 anos, ainda que com oscilações, o nível médio do mar subiu entre 120-140 m (Dias, 1985, 1987).

As condições pedológicas e edáficas: a existência de matéria orgânica nos solos e de cobertura vegetal, para além de condicionar o teor em CO_2 da água de infiltração,

também contribui para aumentar a sua infiltração (Rodrigues, 1998; Teixeira *et al.*, 2000). As características morfológicas e funcionais dos modelados cárscicos ficam a dever-se, para além das arquitecturas estruturais e desenhos morfológicos inerentes ao maciço, aos tipos de espessuras e idades das coberturas detríticas que os revestem (Cunha, 2003).

O factor tempo: o tempo durante o qual a água de infiltração contacta com a rocha, a duração dos processos de dissolução e o tempo de saturação da mesma em carbonatos influenciam a intensidade da carsificação (Rodrigues, 1998).

2.2 Conceitos gerais de Hidrografia e Hidrogeologia

Considerando os enquadramentos do domínio escolhido para este estudo – bacia hidrográfica da ribeira de Ançã – apresentam-se, seguidamente, algumas definições hidrográficas e hidrogeológicas relevantes.

Bacia hidrográfica: área da superfície terrestre limitada topograficamente pelos pontos de maior cota e que contém uma rede de drenagem que converge para um único ponto – foz.

Balanço hídrico: modelo que procura estabelecer a relação volumétrica entre as entradas e saídas de água de uma bacia hidrográfica ou num aquífero, num dado período de tempo (Mendonça *et al.*, 2000).

Água subterrânea: designa a água presente no subsolo e que evolui na zona saturada. É equivalente, na maioria dos casos, à água da precipitação que se infiltrou no solo e atingiu o nível/superfície freática (superfície que separa a zona saturada da zona não saturada, também apelidada de zona vadosa). Quando a água atinge uma barreira impermeável, preenche os poros ou fissuras das rochas, formando um domínio saturado. O armazenamento hídrico e a hidrodinâmica na zona saturada dependem das características hidrogeológicas e morfo-estruturais do meio rochoso. As massas de água subterrânea resultam da acumulação no meio subterrâneo – aquíferos – ao longo de períodos de tempo variáveis (de meses a milhares de anos). No geral, a água subterrânea move-se muito lentamente, podendo emergir em exurgências (concentradas ou difusas), rios, lagos, oceanos ou ser captada em furos, poços e galerias.

Os meios porosos onde a água subterrânea evolui dividem-se em granulares, fissurais, de dissolução (cárscicos) e vesiculares (HIDROLEX, 2010).

Porosidade: propriedade física que quantifica o número e arranjo dos espaços vazios existentes nos corpos geológicos: a **porosidade primária** constitui a razão entre o volume de espaços vazios e o volume total da rocha, a **porosidade efectiva** a razão entre o volume de vazios interconectados preenchidos por água e o volume total da amostra (Mendonça *et al.*, 2000).

A **cedência específica** é a razão entre o volume de água cedido por drenagem gravítica e o volume total da amostra.

Condutividade hidráulica: parâmetro que expressa a permeabilidade de um meio e estabelece a relação entre o escoamento específico (velocidade de Darcy) e o gradiente hidráulico na Lei de Darcy. Este parâmetro é função das propriedades do meio e do fluido. (Mendonça *et al.*, 2000). A **Lei de Darcy** é a lei que descreve o movimento da água subterrânea à escala macroscópica, estabelecendo uma relação entre o escoamento (caudal), a condutividade hidráulica e o gradiente hidráulico (Mendonça *et al.*, 2000).

Coefficiente de Reynolds: coeficiente, resultado de uma conjugação de parâmetros, que determina se o fluxo do fluido é **laminar** ou **turbulento**. Num fluxo laminar, as moléculas de água seguem direcções mais ou menos direitas e paralelas – linhas de fluxo. À medida que a velocidade de escoamento aumenta, o fluido ganha energia cinética, fazendo com que as moléculas de água sigam direcções erráticas. Como resultado, o fluxo passa a designar-se turbulento (Fetter, 1994).

Classificação hidrogeológica dos meios subterrâneos: em função da porosidade e da condutividade hidráulica do meio, as formações rochosas classificam-se em **aquifugos**, **aquiclusos**, **aquitardos** e **aquíferos**.

Aquifugos: formação geológica impermeável incapaz de armazenar água e onde não há circulação hídrica.

Aquiclusos: formação geológica em que a condutividade hidráulica é de muito baixa a nula, independentemente da capacidade de armazenamento.

Aquitardo: formação rochosa capaz de armazenar água, mas em que a transmissividade e a condutividade hidráulica são de moderadas a baixas, não sendo economicamente viável o seu aproveitamento; pode, não obstante, desempenhar uma função importante na recarga e sustentabilidade de aquíferos adjacentes.

Aquíferos: formação geológica que permite bons armazenamentos e circulação da água subterrânea e cujo aproveitamento é economicamente viável. Para que exista um aquífero é necessário haver: (1) barreiras ou níveis impermeáveis adjacentes (ex. aquíclusos, fracturas, filões, planos estratificação, estruturas em sinclinais, etc.); (2) ocorrência de recarga hídrica; (3) presença de água com qualidade desejada (Azevedo, 2014). Podem ser classificados de acordo com a localização geográfica, pressão hidrostática, transmissividade e litologia.

No que toca à pressão hidrostática no maciço rochoso, os aquíferos podem ser considerados **confinados a semi-confinados**, quando a pressão hidrostática é consideravelmente maior do que a pressão atmosférica, e **não confinados**, quando a pressão hidrostática é igual ou ligeiramente superior à pressão atmosférica. Nos aquíferos confinados, a formação aquífera está limitada, no topo e/ou na base, por barreiras confinantes (aquífugos ou outras estruturas impermeáveis); nos aquíferos não confinados incluem-se os aquíferos freáticos, cujo limite superior de saturação corresponde ao nível freático local ou regional. No conjunto dos aquíferos não confinados podem incluir-se os **aquíferos suspensos**. Este subtipo inclui os aquíferos assentes sobre uma camada impermeável ou semipermeável, sub-horizontal, de reduzida extensão e situada acima da superfície freática regional. O desenvolvimento destes aquíferos denota frequentemente um carácter temporário.

Em função da natureza geológica, particularmente textural e estrutural, do meio subterrâneo, nomeadamente do tipo de porosidade presente, os aquíferos dividem-se nos seguintes tipos: porosos, fracturados, carsificados e mistos. Na área em estudo, predominam as unidades aquíferas do tipo cársico; ocorrendo também unidades do tipo poroso.

Aquífero cársico: aquífero que ocorre em rochas solúveis à água das chuvas, geralmente calcárias e dolomíticas, em que as acções mecânicas e químicas decorrentes da circulação subterrânea originam fissuras e condutas de dissolução. Se houver conexão hidráulica entre as diversas cavidades, podem nascer verdadeiros cursos de água subterrâneos. Segundo White (1997), os aquíferos cársicos têm uma dupla porosidade – uma associada à matriz do carso superficial (baixa) e a outra associada às fracturas e diclases que cortam a rochas (alta a muito alta) – sendo que esta se apresenta com maior intensidade à superfície, devido ao facto de os fenómenos de descompressão serem aí mais intensos.

A água da chuva, enriquecida em dióxido de carbono, ao atravessar os horizontes superficiais do maciço carbonatado, mais fissurado, promove a dissolução do meio geológico; a evolução da água enriquecida em Ca para níveis profundos, eventualmente confinados e semi-confinados, promove um enriquecimento em CO₂. Sempre que a água subterrânea percolar por domínios não-confinados – zona vadosa ou cavidades (galerias, condutas) – em que a pressão interna é próxima ou igual à pressão atmosférica, verifica-se a libertação do CO₂ dissolvido, ocorrendo a precipitação de carbonatos e a formação de estalactites e de estalagmites. A precipitação de veios de calcite, pós-diagéneses, ao longo de planos de descontinuidade formados no maciço, segue princípio semelhante. Estes processos estão intimamente ligados a períodos de rebaixamento do nível hidrostático (freático) regional.

A circulação subterrânea em aquíferos cársicos pode dividir-se em três tipos: (1) um fluxo laminar contínuo ao longo dos depósitos sedimentares, mais impermeáveis, que usualmente cobrem o carso superficial; (2) um fluxo laminar localizado ao longo das fracturas (espessuras até 10 mm); (3) um fluxo turbulento, também localizado ao longo das condutas no maciço (espessura superior a 10 mm), (Ghasemizadeh *et al.*, 2013). Nos maciços cársicos, a água fácil e rapidamente se infiltra e viaja até nascentes distantes (Hiscok, 2014) através de uma circulação preferencialmente vertical em determinados sectores, e sub-horizontal noutros.

Os sistemas aquíferos cársicos são complexos (Figura 2.2). O elevado grau de heterogeneidade de um aquífero cársico, conferido pela assimetria estrutural do maciço, torna a perfuração de furos para captação de água um procedimento incerto, com uma taxa de sucesso irregular. Nas regiões mais montanhosas, por exemplo, os níveis da água podem estar a profundidades de centenas de metros.

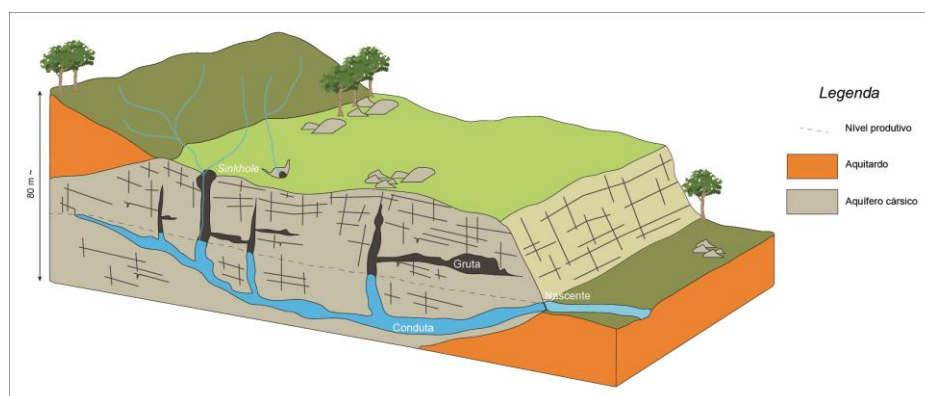


Figura 2.2 – Bloco-diagrama ilustrando um tipo de paisagem cársica (adaptado de Goldscheider & Drew, 2007, p. 264)

De acordo com White (1997), os principais processos de entrada de água no modelado cárstico são: (1) as linhas de água superficiais que evoluem directamente para domínios subterrâneos; (2) a drenagem de águas superficiais a partir de *sinkholes* e depressões; (3) a infiltração da água da precipitação através do rególito do epicarso (carso superficial); (4) a percolação através da matriz da rocha até às fracturas da zona saturada. A maioria dos sistemas cársticos apresenta poucos pontos de descarga (Ford & William, 2007), sendo que normalmente se concentram num reduzido número de nascentes. Os aquíferos cársticos são muito vulneráveis à contaminação. Dentro do aquífero, devido à existência de inúmeros fluxos turbulentos, os contaminantes são facilmente espalhados pelo edifício cárstico (Ghasemizadeh *et al.*, 2013).

Segundo Ghasemizadeh *et al.* (2013), destacam-se os seguintes métodos de estudo de aquíferos cársticos: (1) geológicos e estruturais – observação e interpretação de litologias, atitude das camadas, padrões de fracturação e flexuras; (2) espeleontológicos – observação do desenho das condutas, canais subterrâneos e observação directa do corpo aquífero; (3) hidrogeológicos – monitorização das taxas de escoamento subterrâneo e de caudais de exurgências; (4) métodos hidráulicos – construção de mapas potenciométricos e de fluxo e realização de ensaios hidráulicos em furos e poços; (5) métodos hidroquímicos-isotópicos – cálculo de razões e de taxas de trânsito de isótopos estáveis/radioactivos e caracterização dos processos de mistura de fluxos subterrâneos oriundos de diversas frentes; (6) testes com traçadores e métodos geofísicos – identificação das conexões hidráulicas no maciço (condutas, algares); (7) modelação hidrogeológica – criação de modelos conceptuais e matemáticos/3D que permitam estudar a circulação hídrica nos aquíferos cársticos (apesar de muitos modelos aquíferos convencionais não se adaptarem ao sistemas cársticos).

Aquífero poroso: aquífero no qual a água subterrânea circula maioritariamente em vazios intergranulares. Este tipo de aquíferos pode ocorrer em rochas sedimentares consolidadas, em sedimentos não consolidados e em solos arenosos e coluviões resultantes da decomposição rochosa *in situ*. Os aquíferos porosos, como armazenam grandes volumes de água e abrangem extensas áreas, geralmente constituem importantes reservas hídricas, sendo que os de granulometria grosseira podem fornecer caudais avultados.

Recarga aquífera: engloba processos hidrodinâmicos de entrada de água num aquífero; a área superficial onde se iniciam os processos de entrada de água para a unidade aquífera apelida-se de zona de recarga. A recarga inclui processos naturais - (1) recarga por infiltração directa de água superficial (rios e lagos); (2) recarga por influxo subterrâneo; (3) recarga por infiltração directa e profunda da água pluviométrica (Ferreira *et al.*, 1995) e

processos não-naturais (ou induzidos). Nos aquíferos não confinados, a recarga aquífera resulta em larga medida da infiltração associada à precipitação. Nos aquíferos localizados em níveis mais profundos, para além da infiltração profunda, a recarga resulta da circulação hídrica entre unidades hidrogeológicas distintas através de condutas hidráulicas ou aquíferos (aquífero-aquífero-aquífero) – **drenância**. Factores naturais, como a pedologia e o coberto vegetal (taxas de evapotranspiração) e não-naturais, como a impermeabilização da superfície, influenciam a recarga aquífera.

Descarga aquífera: engloba os mecanismos de saída de água de uma unidade aquífera. Pode realizar-se por processos naturais – fluxo para a zona não-saturada, transferência para massas de água superficiais como rios, lagos, mar e nascentes – e não naturais (induzidos) – captação através de poços, furos, galerias, etc.

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

3. Capítulo III – Enquadramento geral da área de estudo

Neste capítulo são apresentados os enquadramentos regionais da área de estudo relativamente aos domínios geográfico e administrativo, topográfico, climatológico, geológico, geomorfológico e estrutural.

3.1 Geográfico e administrativo

A área de estudo localiza-se na Região Centro de Portugal (NUTS II – Região Centro – PT16) e insere-se na sub-região do Baixo Mondego (NUTS III – PT162) (Figura 3.1).

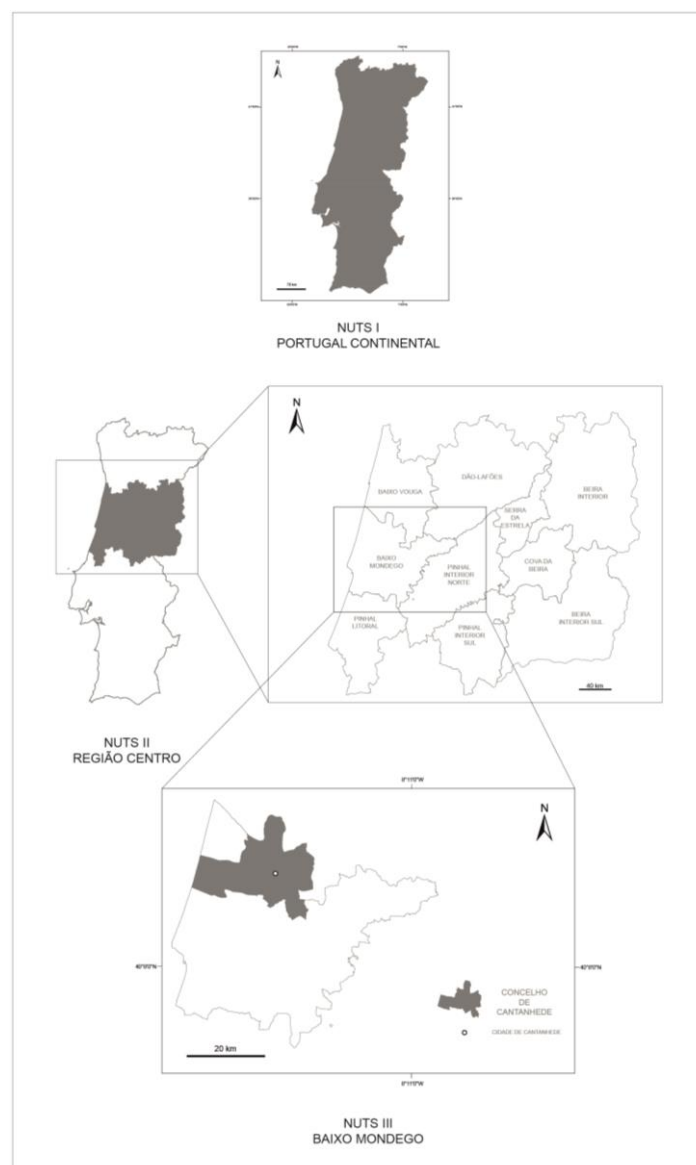


Figura 3.1 – Enquadramento geográfico e administrativo da área em estudo (I), (adaptado de CCDRC, 2015 e de APA, 2015)

O domínio em estudo estende-se pelos concelhos de Cantanhede (maioritariamente), Montemor-o-Velho e Coimbra. No entanto, todas as localidades abrangidas pertencem ao município de Cantanhede. A área de estudo engloba as freguesias de Ançã, Outil e Portunhos, Cadima, Cordinhã e Cantanhede, do concelho de Cantanhede, as freguesias de Arazede e Tentúgal, do concelho de Montemor-o-Velho, e a freguesia da Lamarosa, do concelho de Coimbra (Figura 3.2). A gestão das massas de água regionais é da responsabilidade da APA – ARH-Centro.

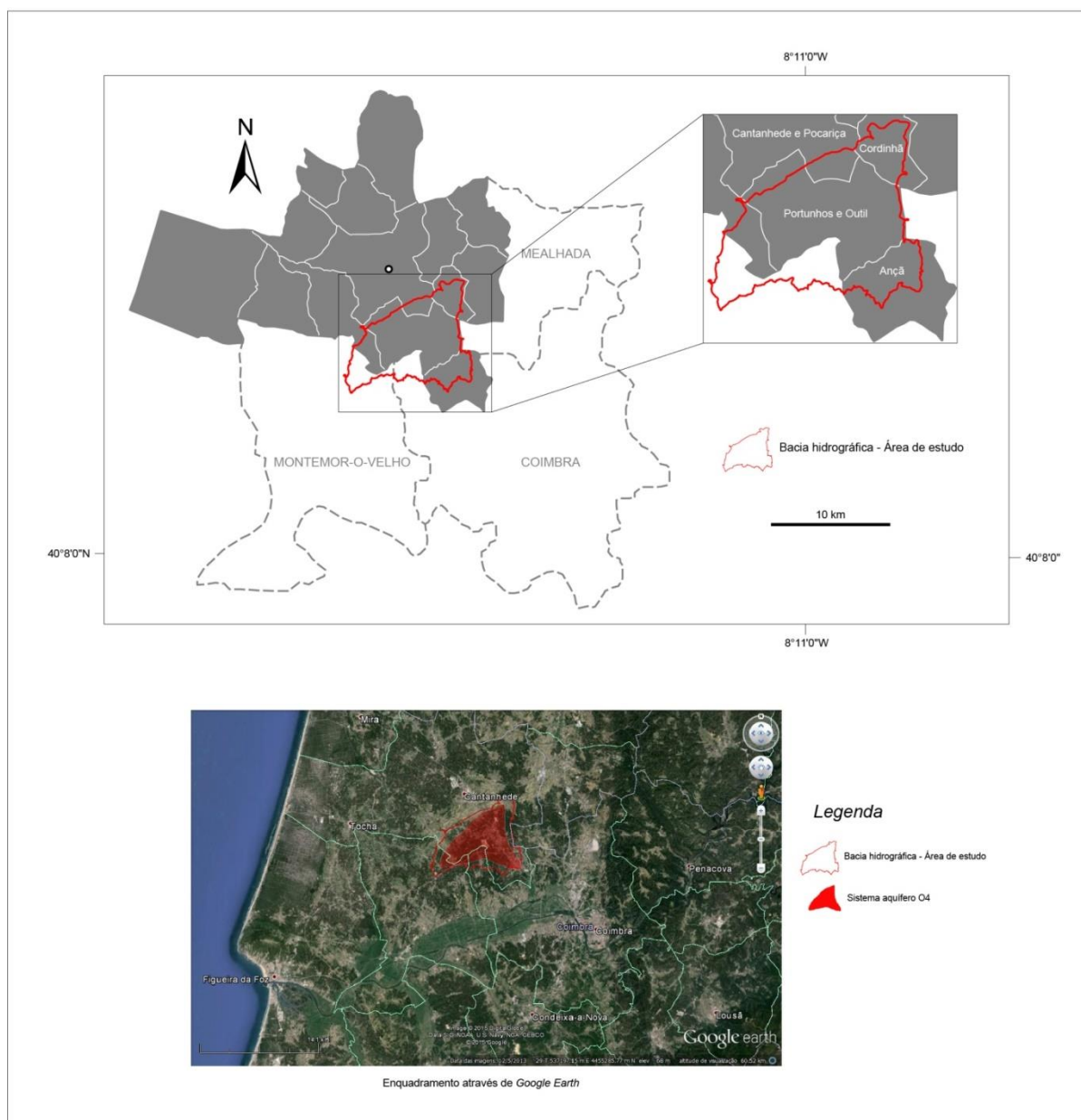


Figura 3.2 – Enquadramento geográfico e administrativo da área em estudo (II), (adaptado de CCDRC, 2015 e de APA, 2015)

3.2 Topográfico

O sector estudado coincide com os limites da bacia hidrográfica da ribeira de Ançã e apresenta uma área plana de 59 km², aproximadamente. Encontra-se representada nas Cartas Militares do Exército, à escala 1:25000, nas folhas n.º 218-Cantanhede e n.º 229-Ançã (Figura 3.3.).

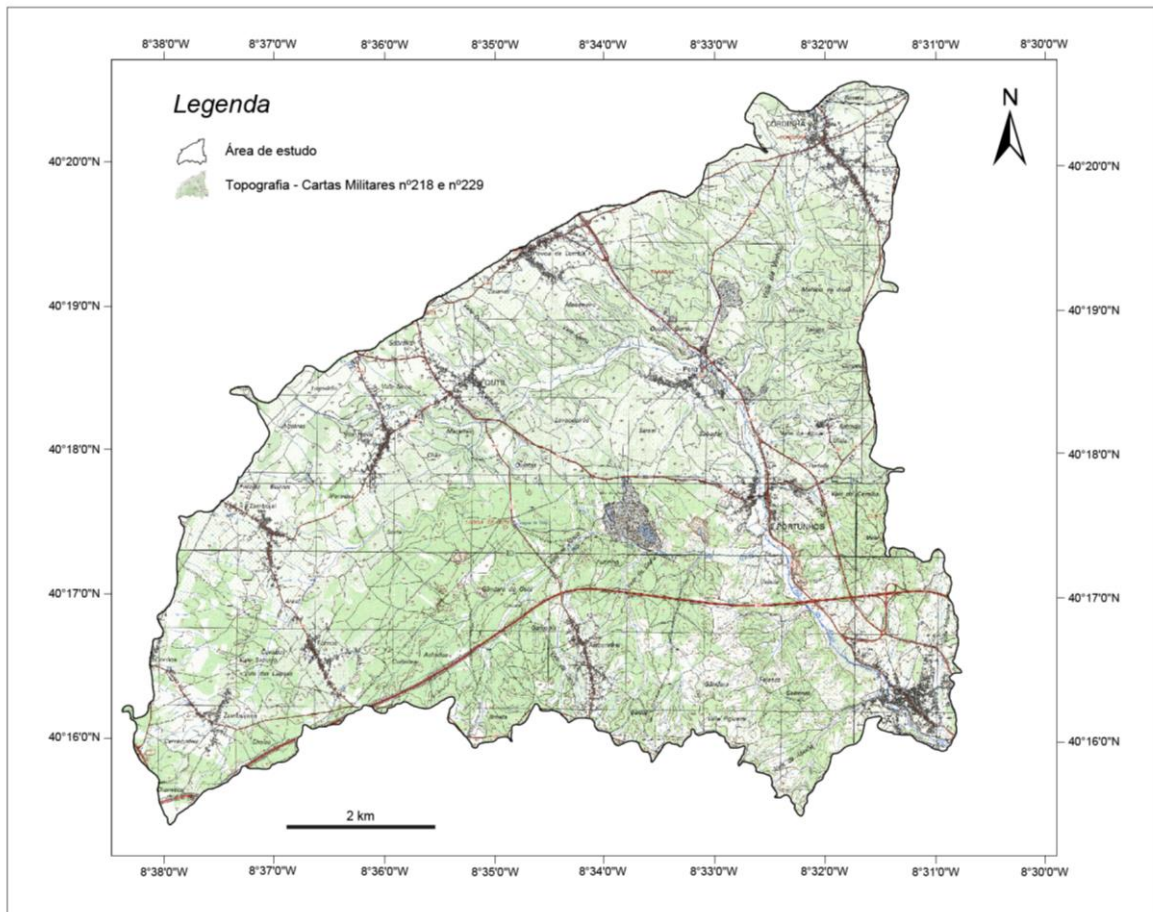


Figura 3.3 – Enquadramento topográfico geral, a partir da Carta Militar (folhas n.º 218 e n.º 229)

A zona em referência está limitada, a NNW, pela cidade de Cantanhede e, a SE, pela vila de Ançã. Apesar de extensa, são poucas as povoações por ela englobadas. Destacam-se as seguintes aldeias (de N para S): Cordinhã, Póvoa da Lomba, Outil, Vila Nova, Zambujal, Gordos, Pena, Zambujeiro, Fornos, Portunhos, Andorinha. A vila de Ançã e as restantes aldeias da região são servidas por uma rede viária bem desenvolvida (Figura 3.4).

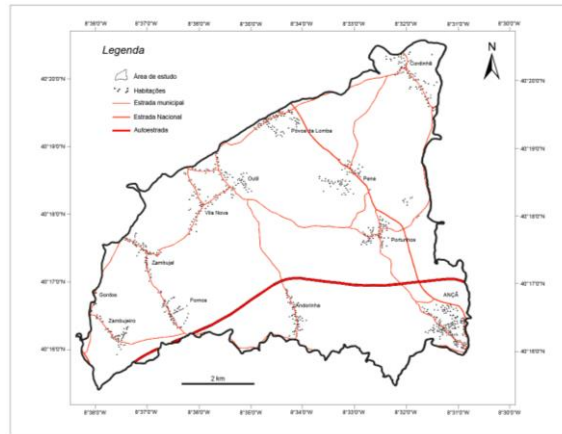


Figura 3.4 – Rede viária dentro da área de estudo a partir da Carta Militar (folhas n.º 218 e n.º 229)

Os relevos são poucos acidentados, com exceção de algumas zonas dos vales das ribeiras principais. Há uma suavização da orografia de NW para SE, sendo que, a NW, é distinguível um planalto (cerca de 100 km²), bem desenvolvido, “com características geomorfológicas próprias” (Dimuccio & Cunha, 1999, p. 1) – planalto de Cantanhede. A SW, na zona correspondente à Várzea de Ançã, os vales são mais amplas. As cotas mais altas rondam os 128 m, a NW, ao passo que as mais baixas rondam os 15 m, a SE (Figura 3.5).

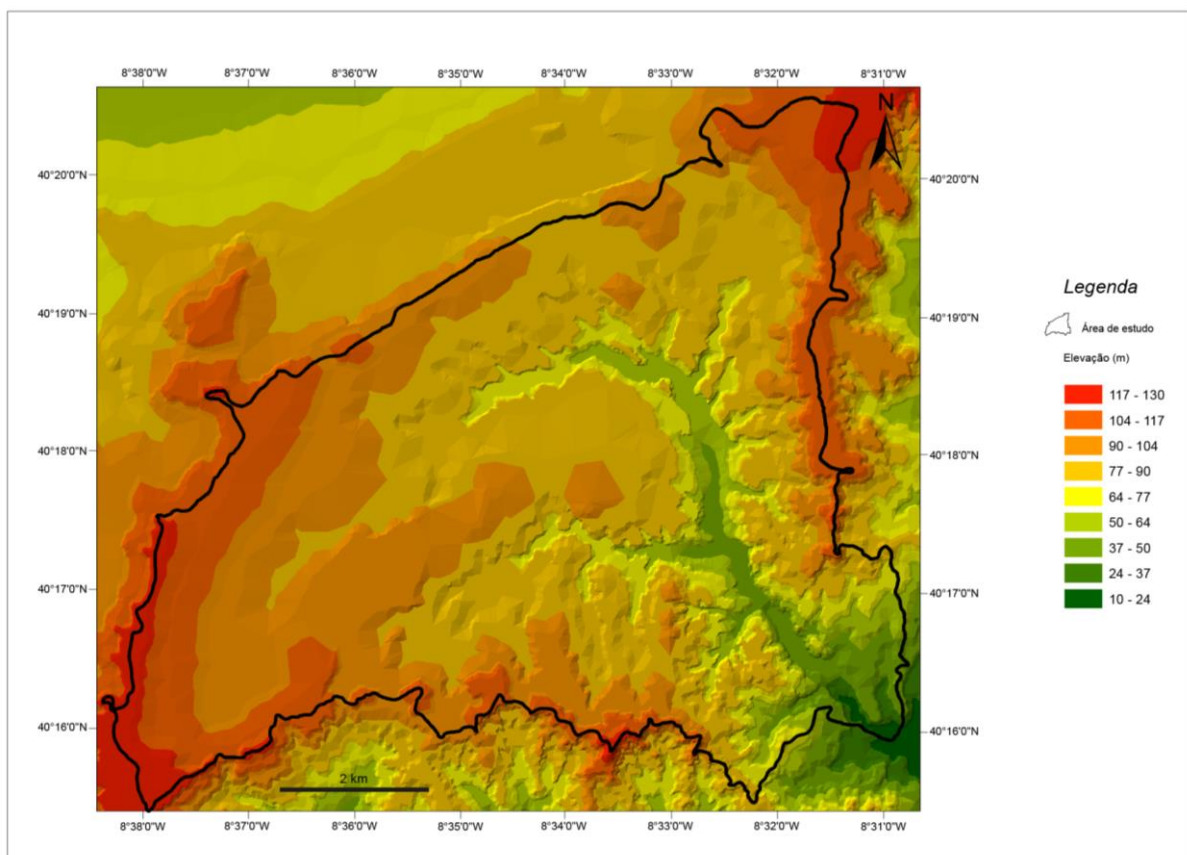


Figura 3.5 – Mapa com um modelo MDT (classes de relevo da área de estudo, em metros), produzido a partir da Carta Militar (folhas n.º 218 e n.º 229)

3.3 Climatológico

Na região, as temperaturas médias anuais rondam os 14-15°C. As temperaturas mais elevadas registam-se entre os meses de Junho e Agosto e as mais baixas entre os meses de Dezembro e Fevereiro (PGBH4, 2012). A precipitação atmosférica média anual ronda os 1100 mm/ano, sendo que assume, em anos húmidos, valores de 1698 mm/ano e não ultrapassa, em anos secos, os 423 mm (SNHIR, 2015). Em comparação com os dados de precipitação para o sector NW da zona do Baixo Mondego, esta pode ser considerada uma micro-região mais chuvosa. A evapotranspiração média anual ETR ronda os 700 mm/ano (SNHIR, 2015) (Figura 3.6).

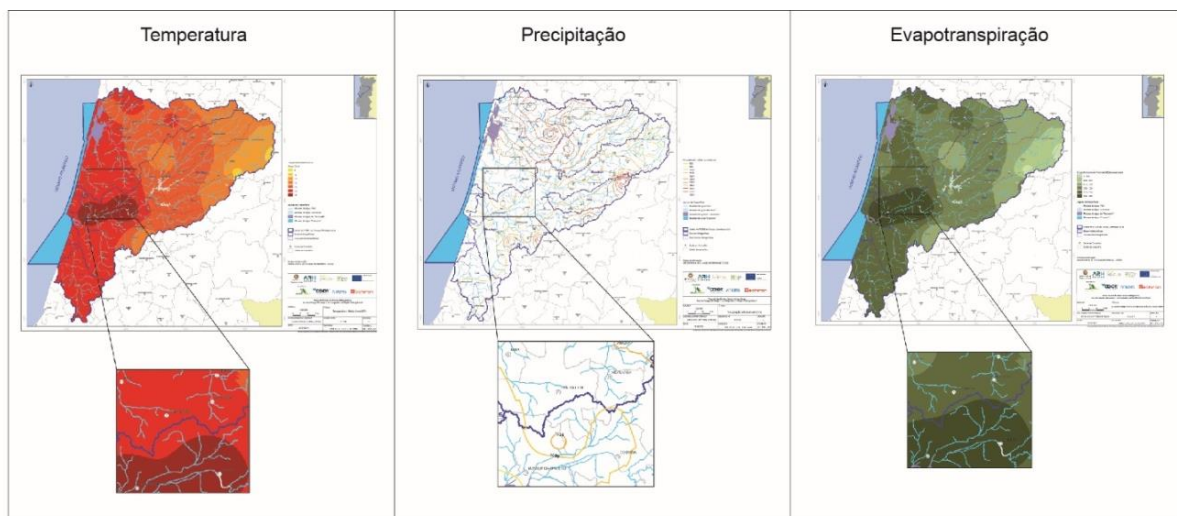


Figura 3.6 – Variações da temperatura, precipitação média anual e ETR para a área em estudo (adaptado de PBRH4, 2012)

3.4 Geológico

Do ponto de vista geológico, a área estudada situa-se em terrenos da Orla Mesoceno-zóica Ocidental (Figura 3.7) – uma região geotectónica de grande diversidade litológica e estrutural, correspondente à antiga Bacia Lusitânica (BL), agora colmatada maioritariamente por rochas sedimentares.

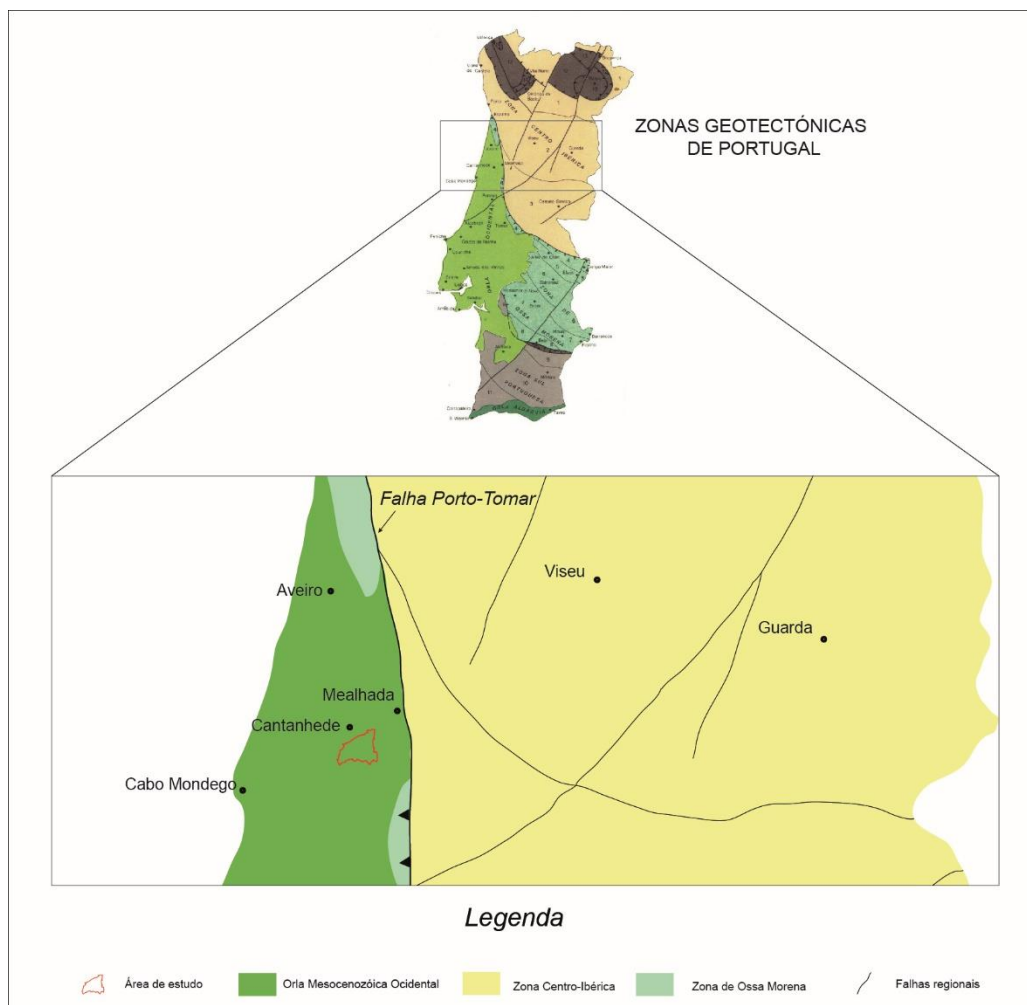


Figura 3.7 – Localização da área de estudo no mapa das zonas geotectónicas fundamentais de Portugal, à escala de 1:500 000 (adaptado de “Vivaageologia.blogspot”, 2012)

A BL alonga-se segundo a direcção NNE-SSW. Encontra-se individualizada, a E, pela Falha Porto-Tomar (FPT) e por um *horst* hercínico a W, actualmente materializado pelas rochas cristalinas do arquipélago das Berlengas (PBRH4, 2012; Kulberg *et al.*, 2006). A FPT constitui um segmento reactivado de sutura entre duas zonas geotectónicas – a Centro-Ibérica e a de Ossa Morena. Como se trata de um bordo estrutural e sub-vertical, não terá acomodado grande estiramento. Não obstante, é identificável um corredor paralelo à FPT, de 5-15 km de largura, no interior da bacia, que apresenta um rol de estruturas do tipo *horst* e *graben*, de escala quilométrica, associados, ainda que indirectamente, a um conjunto de inúmeras flexuras e falhas lístricas (Ribeiro *et al.*, 1996, p. 24). Algumas destas falhas, que provavelmente também afectam o soco hercínico, poderão ter promovido a ascensão de massas diapíricas (ex. diapiro de Soure). O comportamento dúctil dos corpos salinos pode ter estado na origem das faixas de deformação flexural bem visíveis na Carta Geológica de Portugal (alinhamento Anadia – Cantanhede – Boa Viagem – Montemor-o-Velho). Esta faixa terá delimitado uma zona mais externa da crosta, não estirada, de uma

zona interna, estirada; a área de estudo insere-se, assim, no sector setentrional da BL (Rocha & Soares, 1984), no corredor estrutural acima descrito. Este sector acerva um registo sedimentar muito expressivo, relativamente aos períodos do Jurássico Inferior e Médio. A área de estudo encontra-se representada na Carta Geológica de Portugal na folha 19-A, Cantanhede, à escala de 1:50 000 (Figura 3.8).

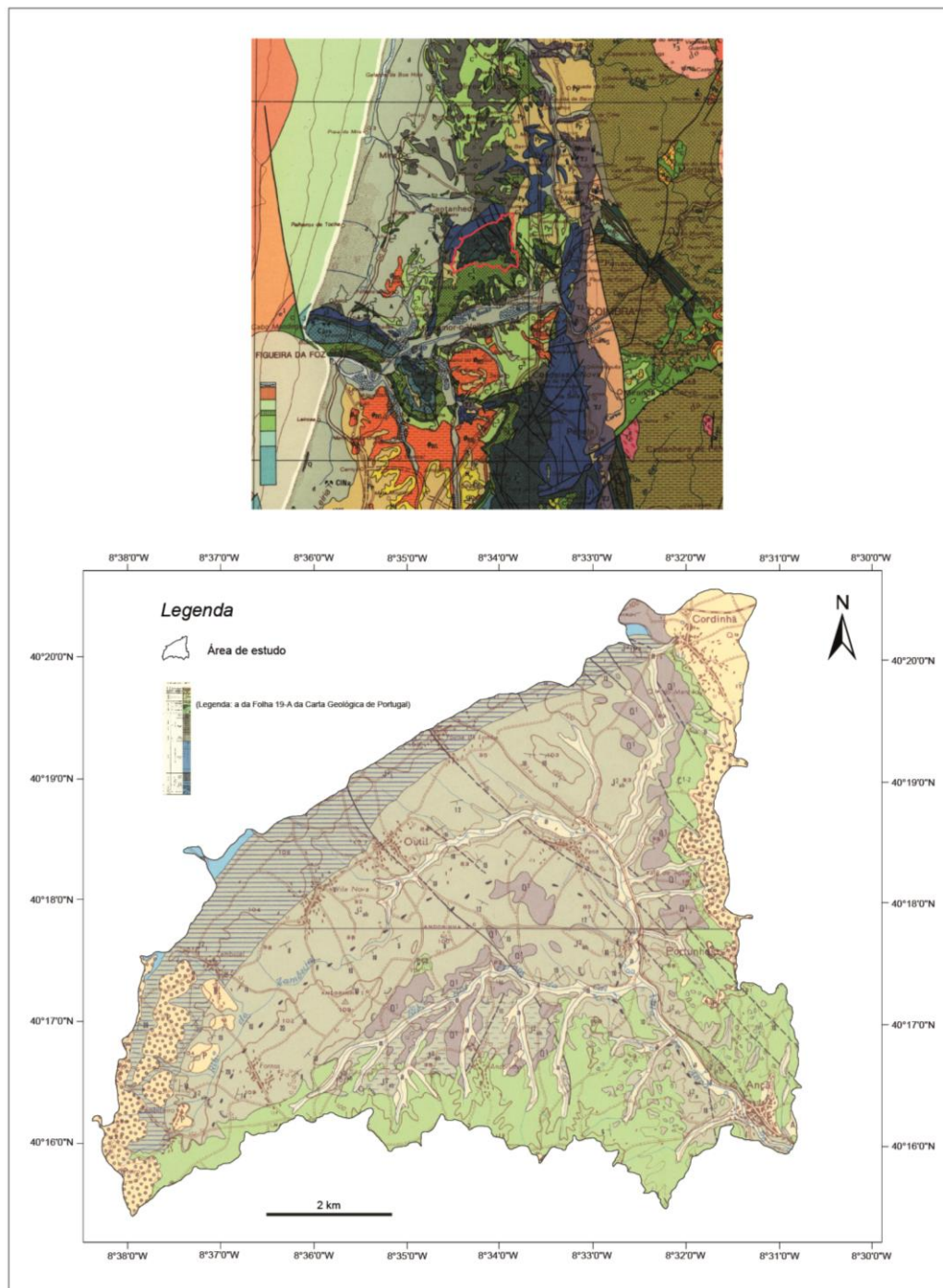


Figura 3.8 – Enquadramento geológico regional da área de estudo, representado na Folha N da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1:500 000 (Oliveira *et al.*, 1992) e na folha 19-A, Cantanhede, da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1:50 000 (Barbosa *et al.*, 1998)

Em baixo, apresenta-se um mapa de litologias da área de estudo (Figura 3.9).

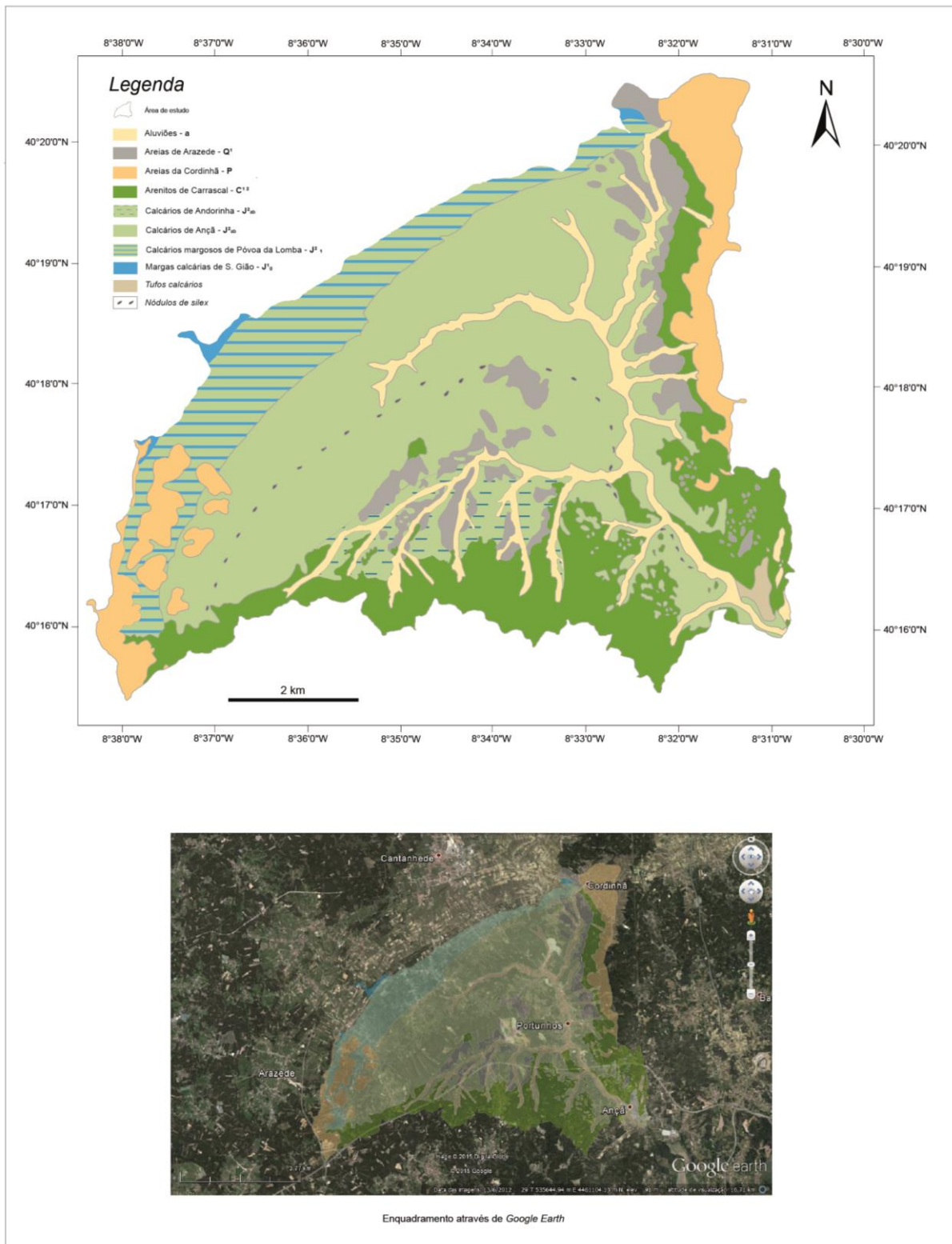


Figura 3.9 – Mapa das litologias da área de estudo (adaptado da folha 19-A, Cantanhede, da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1: 50 000 (Barbosa *et al.*, 1998)

As várias unidades presentes na zona de estudo são, da mais recente para a mais antiga:

Aluviões (a) – Quaternário (espessura indefinida): unidade sedimentar terrígena, constituída por areias, siltes e alguns depósitos co-aluvionares.

Areias de Arazede (Q₁) – Quaternário (10 ± 5 m): unidade sedimentar terrígena, constituída por quartzo-arenitos a arcoso-arenitos médios a grosseiros, de cor amarela, que exibem estratificação entrecruzada (Barbosa *et al.*, 1998).

Areias de Cordinhã e Cascalheiras de Gordos (P) – Pliocénico Superior-Plistocénico (15 ± 5 m): unidade sedimentar terrígena, composta, na base, por quartzo-arenitos finos a muito finos, bem calibrados, amarelo-torrados, por vezes com fragmentos micáceos e seixo-amêndoa, e por arcoso-arenitos e quartzitos mais grosseiros, no topo (Barbosa *et al.*, 1998). “Estes corpos exibem ainda estruturas planares e curvilíneas entrecruzadas” (Barbosa *et al.*, 1998, p. 23).

Arenitos de Carrascal (C¹⁻²) – Aptiano-Cenomaniano Médio (50-150 m): unidade sedimentar terrígena, composta por quartzo-arenitos a arcoso-arenitos grosseiros a muito grosseiros, conglomeráticos, com cascalheiras e seixos quartzosos/pelíticos, com níveis argilosos, que apresenta alguma estrutura interna (estruturas entrecruzadas, curvilíneas), (Barbosa *et al.*, 1998). “Apresenta-se geralmente com a cor esbranquiçada ou cinzenta, frequentemente manchada de vermelho, amarelo ou violeta” (Barbosa *et al.*, 1998, p. 17).

Calcários de Andorinha (J^{2_{ab}}) – Bajociano?-Batoniano (60 m): unidade predominantemente carbonatada, afectada por um intenso carso. É constituída por calcários oolíticos e calciclásticos, sendo também frequentes os calcários bioclásticos e microconglomeráticos (Barbosa *et al.*, 1998).

Calcários de Ançã (J^{2_{ab}}) – Bajociano-Batoniano (250 ± 30 m): unidade predominantemente carbonatada, constituída, na base, por espessas bancadas (2-3 m) de calcário micrítico cinzento, muito compacto, e pouco fossilífero, e por calcários micríticos alvos, compactos, dispostos em bancadas decimétricas a métricas (0,5-1m), ricos em amonóides e icnofósseis, mais perto do topo (Barbosa *et al.*, 1998). Alguns dos calcários apresentam nódulos de sílex.

Calcários margosos de Póvoa da Lomba (J^{2₁}) – Toarciano Superior-Bajociano Inferior (100 ± 20 m): unidade predominantemente carbonatada, constituída por alternâncias

de calcários, mais ou menos compactos, e calcários margosos/margas. A unidade torna-se fortemente carbonatada para o topo (Barbosa *et al.*, 1998). É uma unidade “abundante em associações faunísticas típicas da zona *Aalensis*” (Barbosa *et al.*, 1998, p. 14).

Margas calcárias de São Gião (J_{1g}) – Toarciano Inferior e Médio (300 m): unidade de natureza margosa, bastante fossilífera. É constituída, na base, por um pacote essencialmente margoso, rico em fósseis, a que está sobreposto um pacote de calcários em plaquetas. Sobre estes, encontram-se alternâncias margo-calcárias e ainda um outro grande pacote margoso, com pequenas bioconstruções de espongiários (Barbosa *et al.*, 1998). Apenas aparece no bordo NW da área de estudo.

[Tufos de Ançã: sem expressão cartográfica à escala da carta, situam-se sobre a povoação de Ançã, de ambos os lados da ribeira.]

Em baixo, apresentam-se algumas fotografias de afloramentos de algumas destas unidades (Figura 3.10).

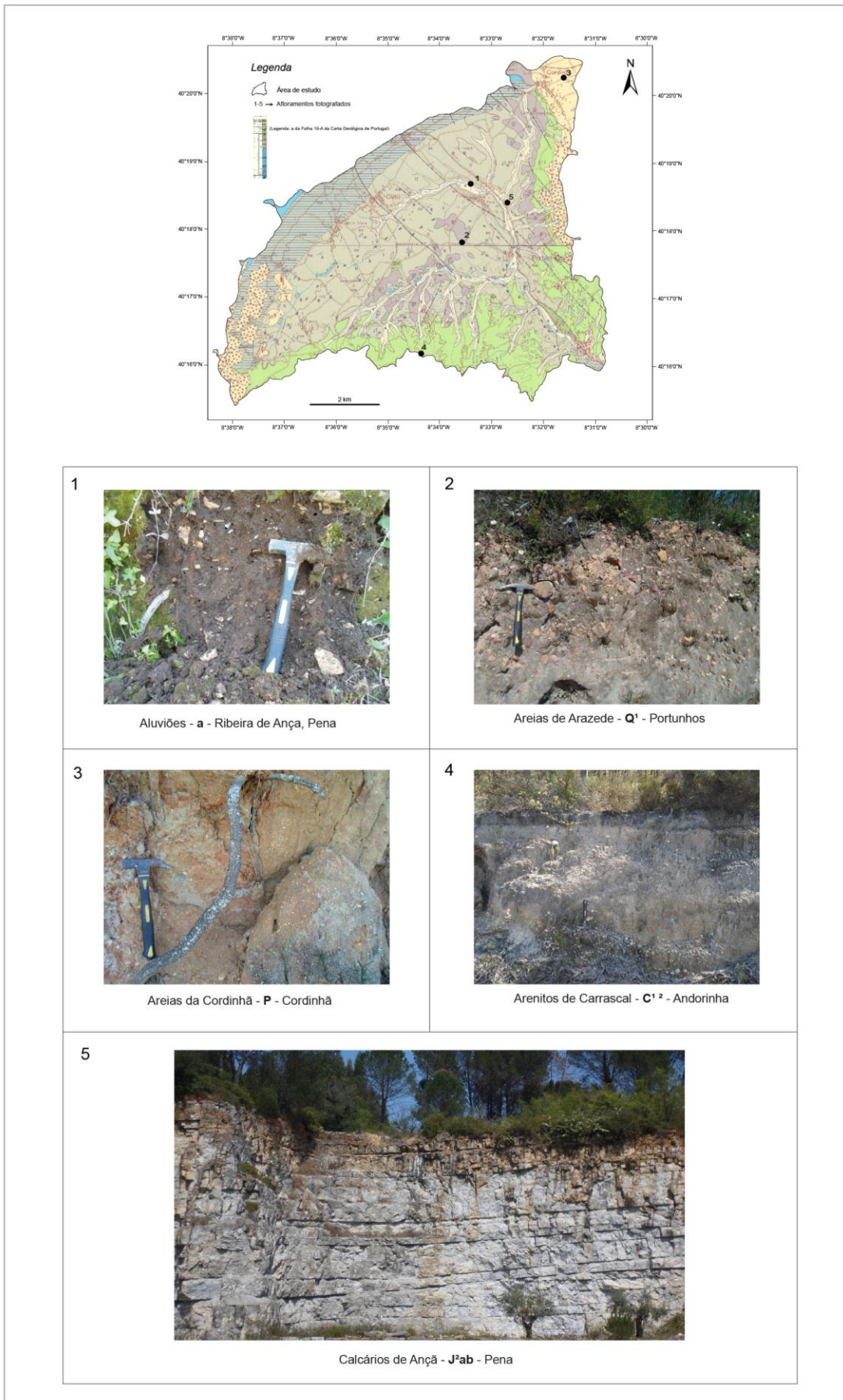


Figura 3.10 – Fotografias das principais unidades geológicas aflorantes na área de estudo

3.4.1 Breve nota sobre a variabilidade litológica das unidades dos calcários do Jurássico Médio (J²_{ab})

Os calcários de Andorinha são diferentes dos de Ançã – ao passo que, nos primeiros, o grão é grosseiro, e é constante a presença de oóides, pelóides e outros bioclastos, nos segundos, o grão é mais fino, a matriz é mais suja e pouco esparítica, e há uma menor tendência oolítica. Genericamente falando, o calcário de Andorinha pode ser chamado de *biowackstone-packstone* e o de Ançã de *biowackstone-wackstone*. Para o presente trabalho, em termos litológicos, importará falar mais da unidade dos Calcários de Ançã, uma vez que é nesta unidade que as águas subterrâneas evoluem. O calcário de Ançã é uma rocha de cor clara, branco-amarelada a branco-acinzentada (consoante o teor de sílica), compacta e homogénea (calcite ≈ 99%). Contudo, de uma forma genérica, podem ser definidos, dentro da expressão territorial desta unidade, dois sectores, onde a rocha aflorante apresenta características distintas – um sector a NW, na zona de Outil-Fornos, e um sector a SE, na zona de Pena-Portunhos-Ançã. Embora pertencentes à mesma unidade, a “Pedra de Outil” e a “Pedra de Ançã” apresentam características químicas e físico-mecânicas distintas (INETI, 2015), (Tabela 3.1), (Figura 3.11).

Tabela 3.1 – Diferenças nas propriedades químicas e físico-mecânicas da “Pedra de Outil” e da “Pedra de Ançã” (adaptado de INETI, 2015)

Unidade dos Calcários de Ançã - (J ² _{ab}) - características litológicas		
Características químicas [espécies químicas mais importantes]*		
	Sector NW - Pedra de Outil/Fornos	Sector SE - Pedra de Ançã/Portunhos/Pena
Al ₂ O ₃ - (%)	0.66	0.54
CaO - (%)	54.17	53.19
MgO - (%)	0.32	0.16
SiO ₂ - (%)	0.68	3.13
P.R. (L.O.I.) - (%)	42.94	42.10
Características físico-mecânicas*		
	Sector NW - Pedra de Outil/Fornos	Sector SE - Pedra de Ançã/Portunhos/Pena
Resistência mecânica à compressão - RMC - (Kg/cm ²)	420	230
RMC após teste de gelividade - (Kg/cm ²)	400	240
Resistência mecânica à flexão - (Kg/cm ²)	80	50
Massa volúmica aparente - (Kg/m ³)	2430	2100
Absorção de água [à temperatura ambiental] - (%)	3.7	9.6
Porosidade aberta - (%)	6.4	20
Coef. de dilatação linear térmica [valor máximo] - (per C)	2.9 x 10 ⁻⁶	4.3 x 10 ⁻⁶
Resistência ao desgaste (mm)	2.8	7.9
Resistência ao choque (cm)	30	15

* Retirado de INETI, *Rochas Ornamentais Portuguesas*, 2015

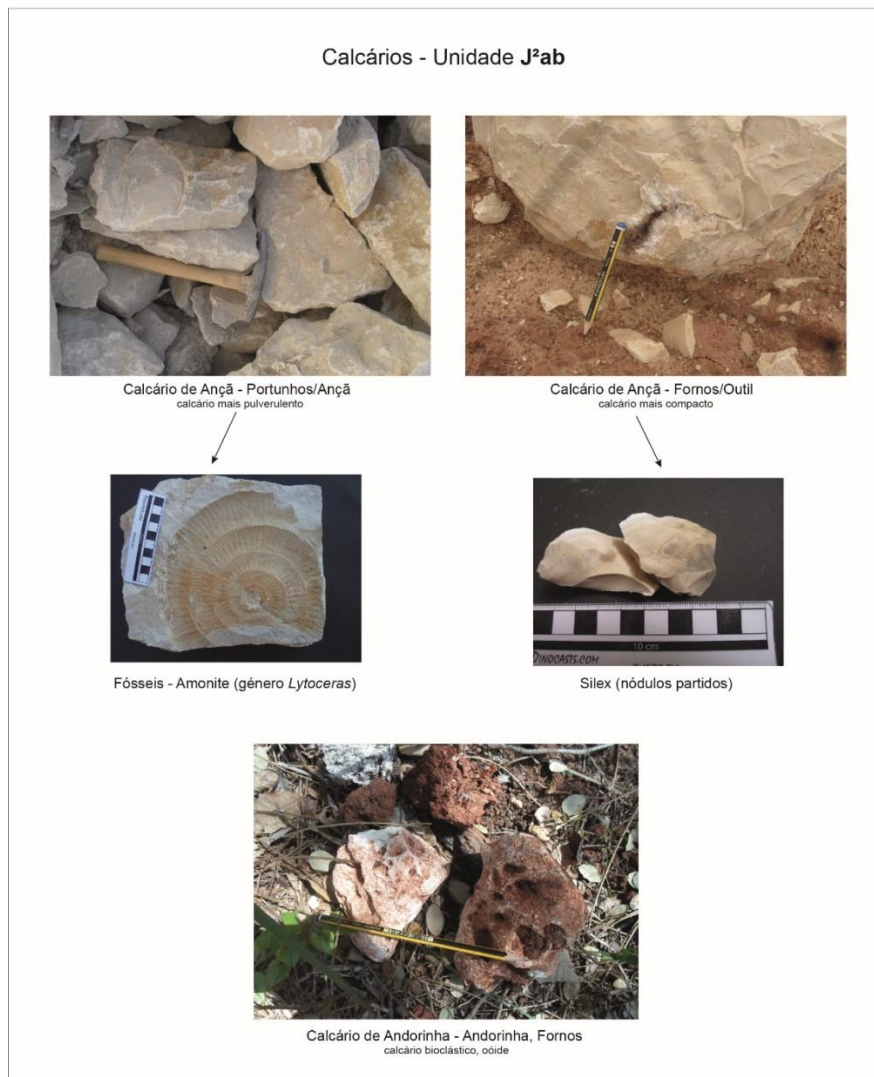


Figura 3.11 – Diferenças texturais entre os diferentes tipos de calcários do Jurássico Médio (J²_{ab})

3.5 Tectóno-estrutural e Geomorfológico

3.5.1 Tectóno-estrutural

As feições estruturais actuais da área de estudo devem a sua origem às fases de maior actividade tectónica do Cenozóico Inferior, da passagem do Terciário (Pliocénico Superior) para o Quaternário, e dos processos da Neotectónica (Dimuccio & Cunha, 1999). Na zona de estudo há um pequeno *horst*, cujo eixo principal estabelece a divisão de duas bacias hidrográficas: a SE, a do Mondego e a NW, a do Vouga. Os traços estruturais que a cartografia permite visualizar encontram-se esboçados na figura abaixo (Figura 3.12).

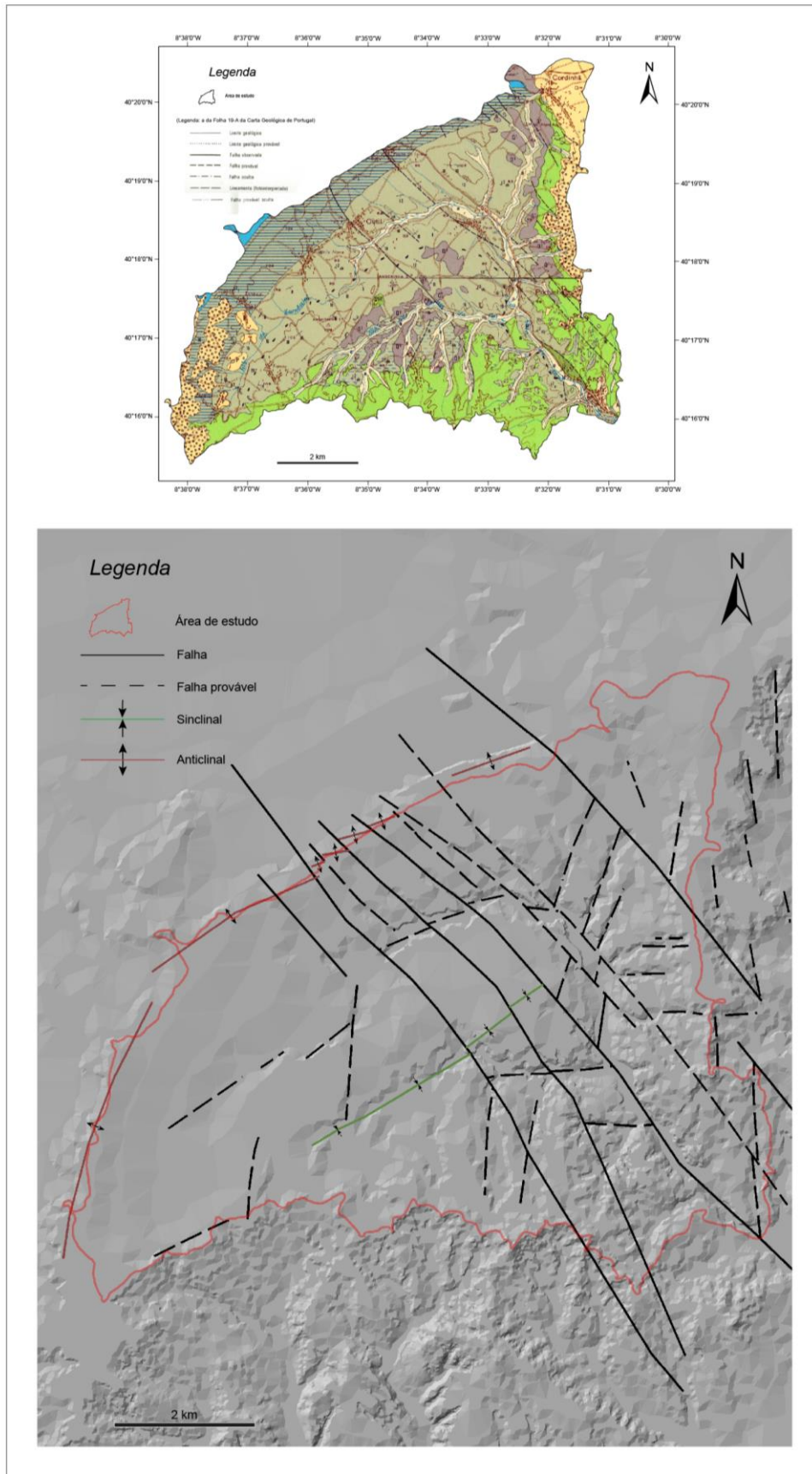


Figura 3.12 – Mapas tectónicos interpretativos com indicação dos principais alinhamentos estruturais e zonas de fracturação identificados na área de estudo

Na área de estudo, são evidentes diversos alinhamentos estruturais: (1) um conjunto de alinhamentos estruturais NW-SE/NNW-SSE, bem expresso no intrincado conjunto de falhas que ocorre na parte central; (2) um conjunto N-S; (3) um conjunto E-W e ainda um conjunto NE-SW, também importante. Tais alinhamentos estarão associados ao anticlinal de Cantanhede e ao sinclinal de Pena/Portunhos-Tentúgal, sendo que este último poderá constituir um falso sinclinal (a tectónica local pode ter alterado a posição dos estratos, conferindo-lhe um aspecto dúbio). A disposição de algumas litologias e o próprio desenho actual da rede hidrográfica comprovam a existências destes alinhamentos estruturais.

Nos maciços em causa, foram identificáveis, no campo, sobretudo em taludes de pedreiras desactivadas, dois tipos de descontinuidades: (1) planos de estratificação (descontinuidades planares); (2) fracturas, que incluem as falhas e as diaclases (maioritariamente sub-verticais). Genericamente falando, ocorrem na área de três famílias de fracturação (falhas e diaclases): (1) uma família segundo a orientação N35°-45°E; (2) uma família segundo a orientação N45°-50°W; (3) uma família E-W (sendo que a expressão desta, no terreno, é menos significativa). É notória a relação entre o carácter destas famílias de fracturas e o dos grandes alinhamentos regionais. Foram também feitas algumas medições de campo, da atitude das camadas da unidade carbonatada (J_{ab}^2) (Figura 3.13).

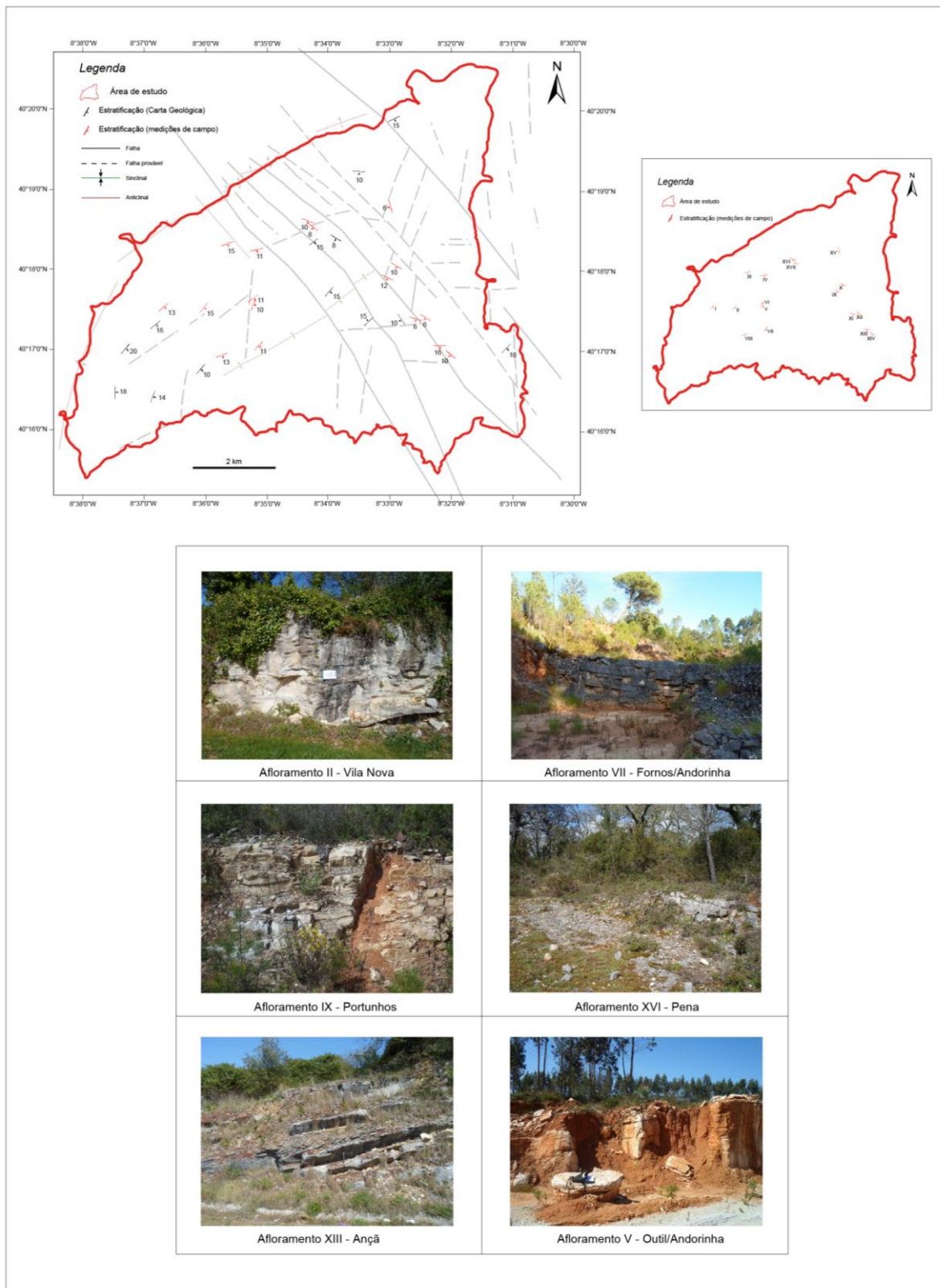


Figura 3.13 – Mapa estrutural do domínio estudado e aspectos de campo das camadas calcárias do Jurássico Médio

3.5.2 Geomorfológico

Do ponto de vista morfológico, a área de estudo engloba o planalto do Jurássico de Cantanhede-Ançã e ainda as plataformas pliocénicas de Murtede-Cordinhã e de Gordos-Meco. “No planalto de Cantanhede-Ançã, a erosão diferencial define, ao longo do contacto entre as Margas de São Gião e os Calcários de Póvoa da Lomba, uma pequena costeira, decorrente do arco estrutural” (Barbosa *et al.*, 1998, pp. 6-7).

A estrutura do planalto de Cantanhede está orientada segundo um eixo NE-SW e é constituída por formações predominantemente carbonatadas, que inclinam 8° a 16° para SE, estando afectada por corredores de fracturação e falhamentos. Os Calcários de Ançã apresentam carsificação superficial fóssil – paleocarso ou carso abortado – localmente penetrativa até dezenas de metros, e uma carsificação mais profunda, que se presume bem definida e hierarquizada. No que diz respeito ao carso subterrâneo, e apesar de poucas explorações espeleológicas realizadas, foram identificadas mais de uma dezena de cavidades (Thomas, 1985). Nos calcários de Andorinha, a carsificação está mais bem desenvolvida, sendo que houve preenchimento de formas cársicas (*lapiás* e dolinas) com argilas, algumas de natureza bauxítica, a atingir espessuras da ordem dos 15 m (Dimuccio & Cunha, 1999). “Os retalhos das coberturas sedimentares pós-jurássicas (arenitos e grés cretácicos, areias e conglomerados Plio-Plistocénicos) favorecem o desenvolvimento dos solos e do coberto vegetal, por vezes mascarando as evidências cársicas da paisagem” (Dimuccio & Cunha, 1999, p. 1). Além das típicas formas de carso, *sensus lato*, existem outras que são resultado da combinação dos processos fluviais com os cársicos, como sejam os vales em que a evolução morfológica é característica e particular das áreas cársicas – vales secos que, após períodos de chuva intensa, são percorridos por água, antes de esta se infiltrar (Dimuccio & Cunha, 1999).

Evolução da paisagem cársica de Cantanhede

“Após a deposição das unidades carbonatadas do Jurássico Inferior e Médio, em contexto transgressivo, reconhece-se, a partir do Jurássico Superior, uma etapa regressiva, que terá deixado a área praticamente emersa até ao novo episódio transgressivo, no Cretácico (Cenomaniano)” (Dimuccio & Cunha, 1999, p. 2).

Presume-se que, durante o estágio regressivo, sob condições climáticas tropicais, ainda antes da deposição de **C¹⁻²**, tenha havido uma importante fase de carsificação. Foi durante este período que se formaram as argilas bauxíticas que preenchem as depressões cársicas mais evoluídas e que integram, em parte, a base de **C¹⁻²** (Dimuccio & Cunha, 1999).

No final do Pliocénico (Terciário), o relevo já estaria diferenciado, mas ainda em processo de soerguimento. A superfície calcária apresentaria uma inclinação para SE, sendo percorrida por uma rede hidrográfica orientada nesse sentido. Alguns dos vales secos hoje observados poderão constituir heranças de velhas formas fluviais surgidas no final do Terciário (Dimuccio & Cunha, 1999). Após a deformação da plataforma litoral pliocénica e da instalação da rede hidrográfica, deverá ter acontecido uma intensa fase de carsificação sob a influência de clima quente e húmido – período interglaciar – durante o qual se terão depositado os Tufos de Ançã (Dimuccio & Cunha, 1999). As coberturas sedimentares pós-jurássicas (argilosas – do Cretácico Inferior – e areno-cascalhentas – do Plio-Plistocénico) sofreram remeximento, associado, em parte, às movimentações tectónicas do final do Paleogénico – compressão pirenaica (N-S) – e do final do Miocénico – compressão bética – juntamente com a última fase compressiva pliocénica. No interior do planalto carbonatado, o remeximento destes depósitos determinou a exumação de parte da superfície jurássica, assim como o enterramento das formas cársicas abertas nos sectores mais deprimidos (Dimuccio & Cunha, 1999). As coberturas sedimentares pós-jurássicas, em períodos de baixo nível do mar, sobretudo as de fácies mais arenosas, poderão ter promovido um aumento da zona vadosa e o desenvolvimento de um sistema cársico de drenagem subsuperficial. Em baixo, apresenta-se um esquema-síntese da evolução da paisagem cársica em Cantanhede (Figura 3.14).

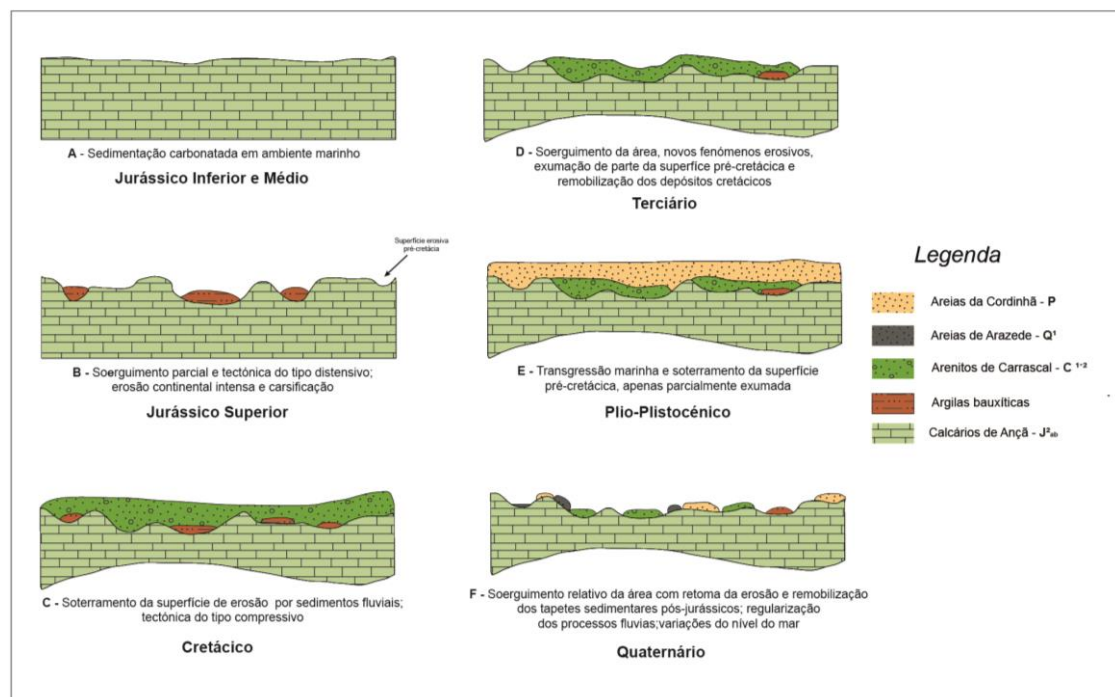


Figura 3.14 – “As principais etapas evolutivas do Planalto de Cantanhede” (adaptado de Dimuccio & Cunha, 1999, p. 10)

Na região em estudo, associados ao modelado cárstico, são inúmeros os exemplos de *sinkholes*, cavidades e grutas existentes no maciço. Algumas, como a gruta da Giota ou Grotta (ver **Capítulo V**), a Gruta D’El Rei e a gruta do Sabadal/Sabela – referida até em *Ciências Geográfico-Naturais*, de Mário Veríssimo Duarte (1948), como “uma das mais notáveis grutas de Portugal” – são conhecidas entre os espeleologistas (Figura 3. 15).

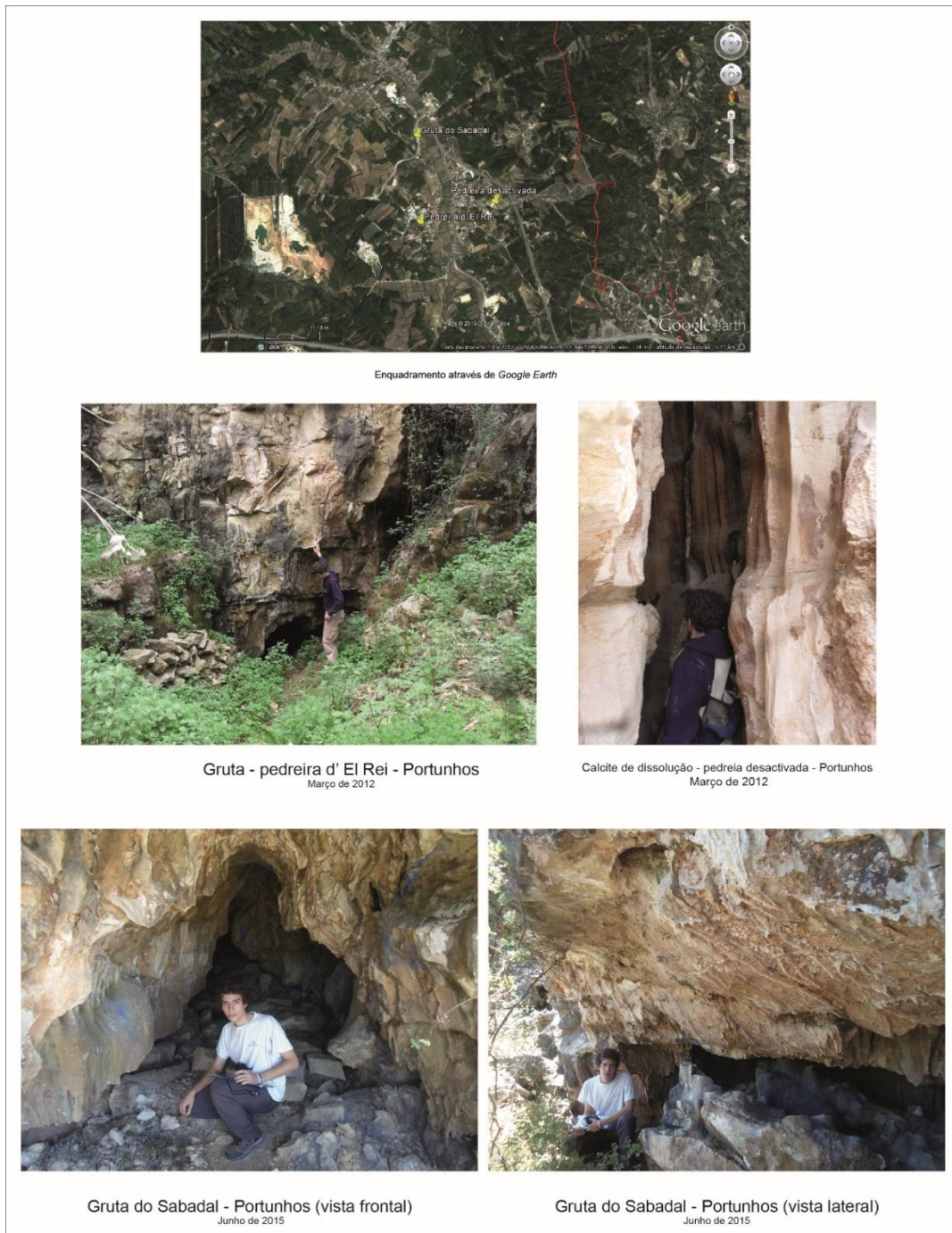


Figura 3.15 – Exemplos de morfologias cársticas conhecidas – grutas

Em baixo, em jeito de súmula do que foi explanado no subcapítulo 3.5, apresentam-se algumas evidências estruturais/geomorfológicas do modelado crsico da área de estudo (Figuras 3.16; 3.17 e 3.18).

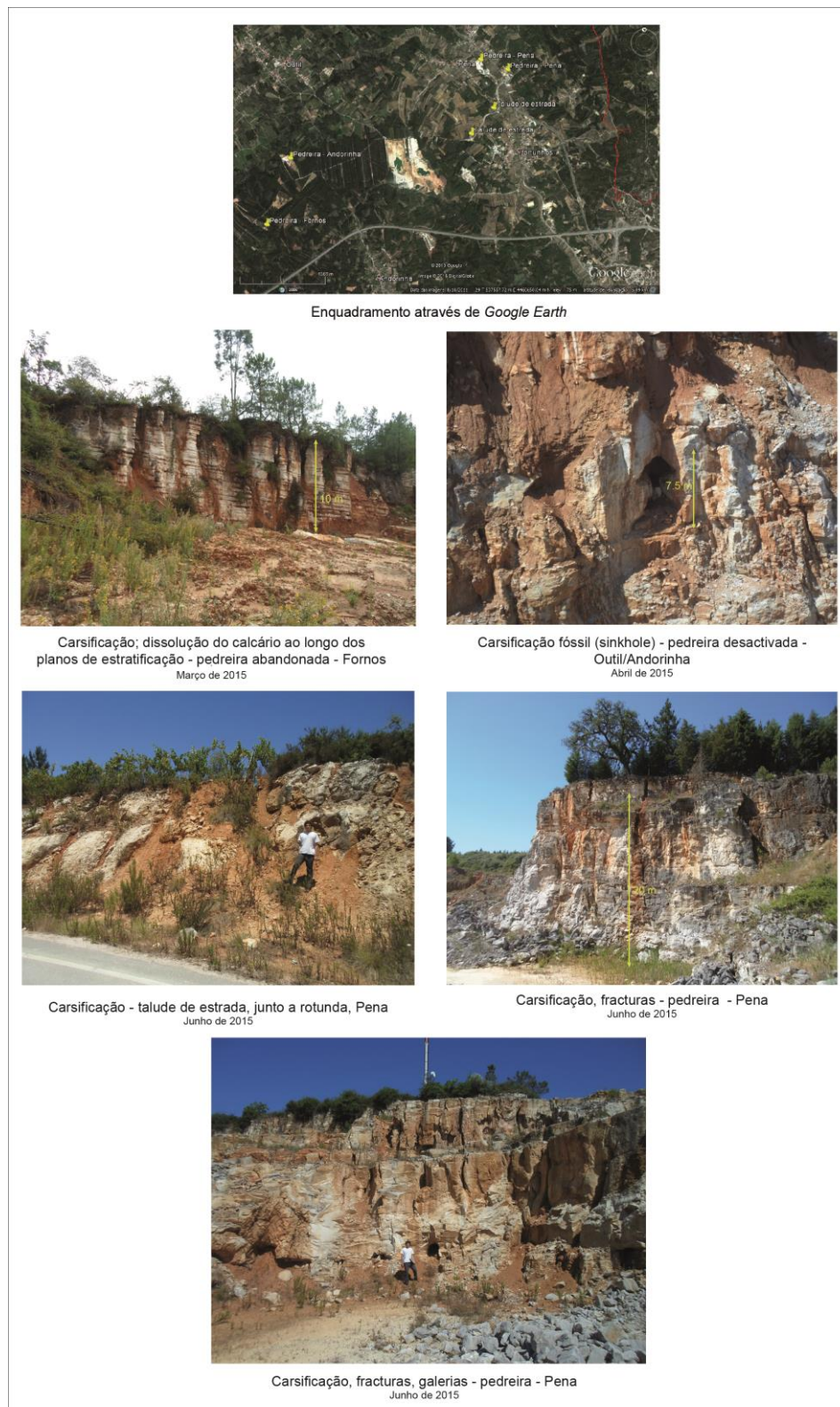
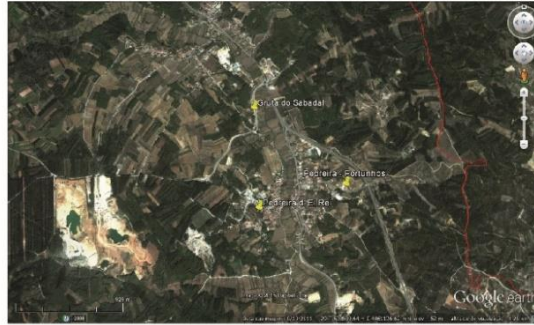
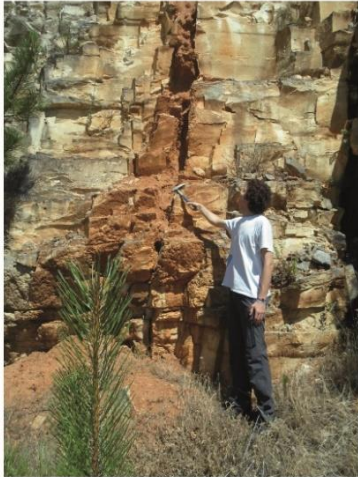


Figura 3.16 – Aspectos estruturais mais significativos em taludes de pedreiras da área de estudo



Enquadramento através de Google Earth



Fracturas com algum preenchimento por *terra rossa* - pedreira - Pena
Junho de 2015

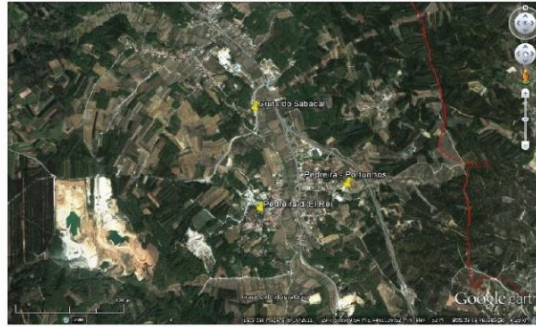


Falha e plano de falha
(de notar o aspecto rugoso) - pedreira - Pena
Junho de 2015



Pequeno *sinkhole* - pedreira - Pena
Junho de 2015

Figura 3.17 – Aspectos de pormenor associados ao modelado cársico (I)



Enquadramento através de Google Earth



Carsificação; galerias e depósitos de *terra rossa* - pedreira - Pena
Junho de 2015



Calcite esparítica sobre bloco de calcário - pedreira - Pena
Junho de 2015



Fendas de carsificação associadas a caixa de falha - pedreira - Pena
Junho de 2015

Figura 3.18 – Aspectos de pormenor associados ao modelado cársico (II)

3.6 Uso e ocupação do solo

A relação entre a geologia, a geomorfologia e a ocupação do solo é estreita. Os solos, dado que a região é maioritariamente composta por rochas carbonatadas, são do tipo cambissolos cálcicos – solos de texturas finas (franco-argilosos ou argilosos) com acumulações de calcário (resultante da alteração da rocha-mãe). A meteorização intensa de algumas zonas do maciço contribui para a degradação química da rocha, e inúmeros depósitos de *terra rossa* cobrem os afloramentos calcários, contribuindo para um aumento da aridez dos solos. A terra é bastante barrenta e, por conseguinte, pouco fértil. As paisagens naturais mais abundantes são, de acordo com CPMOF (2009), constituídas por pinheiros-bravos e pinheiros-mansos (florestas de resinosas), eucaliptos, vinhas (sobretudo no corredor NW-NNW – terrenos mais margosos), oliveiras, matos, culturas temporárias de regadio e arrozais (já na Várzea de Ançã). Relativamente à indústria extractiva, há que destacar a presença de vestígios de antigos fornos da cal e várias pedreiras (algumas em laboração, mas a maioria abandonadas). “A povoação de Ançã emprestou o seu nome à pedra calcária que se extrai de diversas pedreiras das imediações do lugar” (Mattoso *et al.*, 2010, p. 310).

4. Capítulo IV – Metodologias

Neste capítulo são elencados os procedimentos e processos utilizados na realização do presente estudo. Os métodos incluíram a recolha e pesquisa bibliográficas, reconhecimentos e determinações de campo, tratamento e análise de dados e criação de modelos conceptuais. Para a realização do presente trabalho, nomeadamente para a gestão de dados, feitura de enquadramentos, montagens, esquemas e criação de modelos conceptuais, foi usado *software* computacional adequado.

4.1 Pesquisa bibliográfica, documental e cartográfica

A pesquisa bibliográfica e documental incidiu em artigos científicos, dissertações, livros e páginas da *Web*, que abordavam, em termos globais, temáticas subordinadas ao estudo geológico, geomorfológico e hidrogeológico de maciços e modelados cárnicos, e em documentos hidrogeológicos produzidos para a área de estudo.

A pesquisa cartográfica envolveu, essencialmente, a consulta das peças cartográficas existentes para a área de estudo – as folhas n.º 218-Cantanhede e n.º 229-Ançã, da Carta Militar do Exército, a folha 19-A da Carta Geológica de Portugal, o Esboço Estrutural da Carta Geológica de Cantanhede (19-A) e a Carta Neotectónica de Portugal Continental (Cabral e Ribeiro, 1988).

4.2 Actividades de campo

O trabalho de campo realizou-se durante os meses de Fevereiro e Junho de 2015. Estas actividades compreenderam:

Reconhecimento de litologias – análise e registo fotográfico de afloramentos, que apoiassem a descrição geológica.

Reconhecimento de estruturas – (1) identificação e medição da atitude de fracturas, falhas e diaclases; (2) identificação da estratificação das camadas calcárias da unidade J^2_{ab} e de outros alinhamentos; (3) documentação fotográfica de aspectos estruturais e geomorfológicos de realce no âmbito do modelado cárnico, sobretudo.

Reconhecimento de pontos e linhas de água – caracterização expedita *in situ* da rede de drenagem, de exurgências e outros pontos de água (ex., poços) e documentação fotográfica de trechos e pontos considerados interessantes.

4.3 Análise e tratamento de dados de furos para captação de água

Para a realização da presente dissertação, foi solicitada a colaboração da instituição Agência Portuguesa do Ambiente (APA), através da consulta, partilha e tratamento de dados pertencentes à ARH-Centro. Nesse sentido, foram consultados, durante o mês de Abril, nas bases de dados e acervo da ARH-Centro (Coimbra), sob a coordenação da Doutora Paula Garcia, elementos relativos à hidrogeologia da região de Cantanhede, mormente relatórios técnicos e *logs* (litológicos e estruturais) de furos realizados para a captação de água na região em estudo.

Ao todo, foram recolhidos elementos de 35 furos, nos concelhos de Cantanhede e Montemor-o-Velho. Segundo o PBRH4 (2012), estima-se que cerca de 80% das captações no concelho sejam para agricultura ou fins domésticos. Os dados disponíveis na APA eram relativos a furos deste cariz, que assumidamente foram considerados, por essa via, furos produtivos.

Por motivos ético-legais, foram ocultados quaisquer referências das entidades sondadoras, bem como dos proprietários. Os furos foram organizados de acordo com a localização geográfica e numerados de F1 a F35. Com base na leitura das descrições feitas pelas diversas empresas sondadoras (documentos escritos, *logs* e outras peças desenhadas), produziram-se tabelas informativas com dados dos furos (ver ANEXO I). De acordo com a documentação consultada, e conhecendo as coordenadas de cada furo, procedeu-se ao enquadramento geográfico dos mesmos (Figura 4.1).

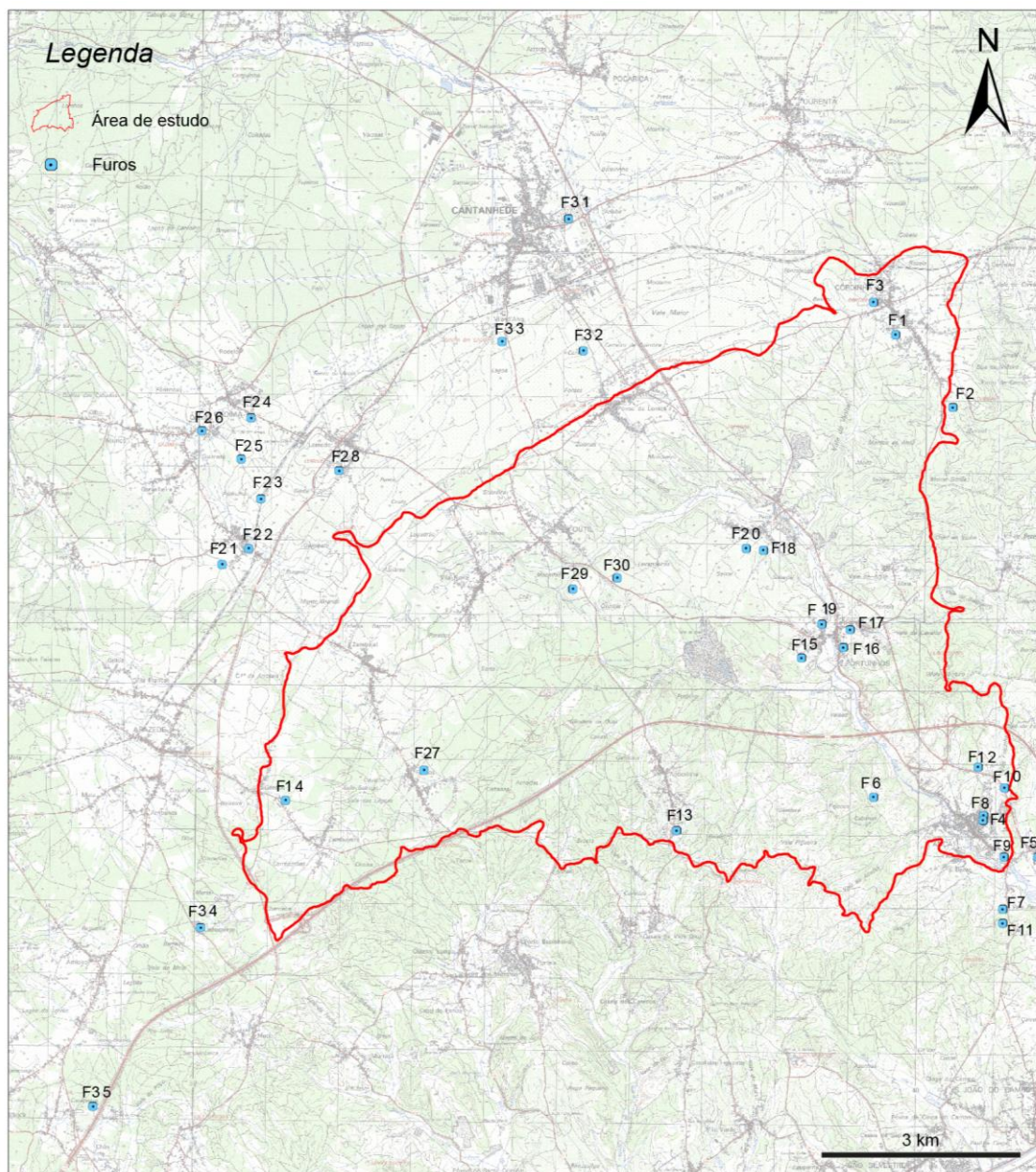


Figura 4.1 – Localização dos 35 furos seleccionados sobre as folhas n.º 218-Cantanhede e n.º 229-Anã da Carta Militar de Portugal

Infelizmente, são escassos os dados relativos ao nível hidrostático e ao caudal crítico de exploração de cada furo. Por isso, as principais atenções recaíram todas sobre os *logs* dos furos e as restantes peças desenhadas. Como expectável, excluíram-se, para o presente trabalho, praticamente todos os furos situados fora da área de estudo. Após esta primeira triagem, os furos foram analisados mais rigorosamente, com o intuito de seleccionar apenas aqueles que interceptariam o sistema aquífero cársico – sistema sobre o qual o presente estudo se debruça. Auxiliando a documentação da sondagem, por vezes algo dúbia, nomeadamente ao nível da descrição litostratigráfica, com a análise cartográfica

(cortes geológicos, atitudes de camadas, tectónica), seleccionaram-se, dentro dos 35 furos inicialmente recolhidos, apenas 16 (14 dentro da área de estudo e 2 próximos dos limites da mesma – F7 e F11), com a certeza de que todos atravessavam a unidade J_{ab}^2 e captavam água em níveis produtivos da mesma (Figura 4.2).

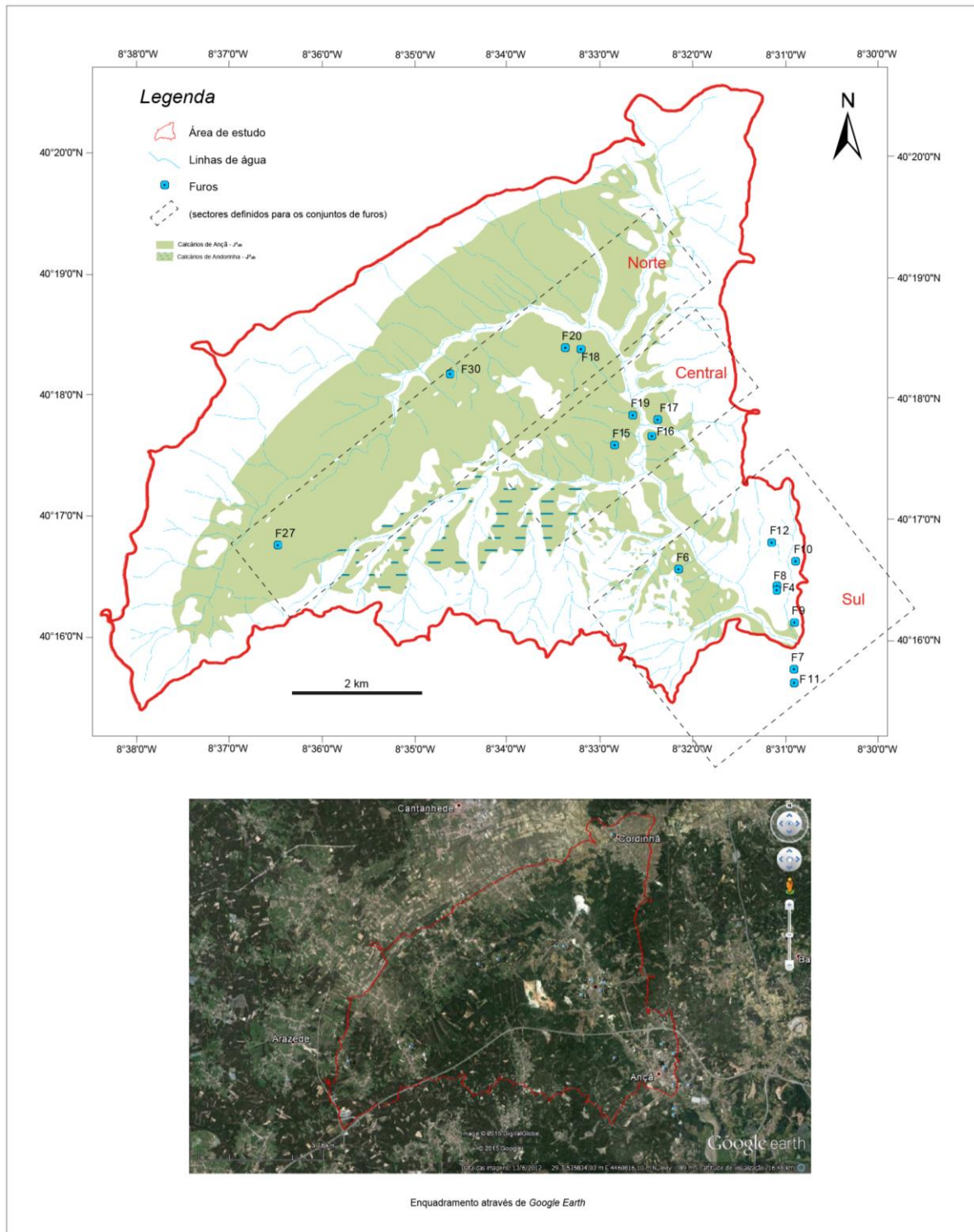


Figura 4.2 – Distribuição espacial dos 16 furos seleccionados para o presente estudo

Produziu-se uma tabela-síntese com as informações de cada furo e respectivas interpretações (ver ANEXO II).

Para ilustrar o processo de selecção dos furos, apresentam-se em baixo dois esquemas (Figura 4.3 e Figura 4.4) com as interpretações que foram feitas após a análise dos logs dos furos.

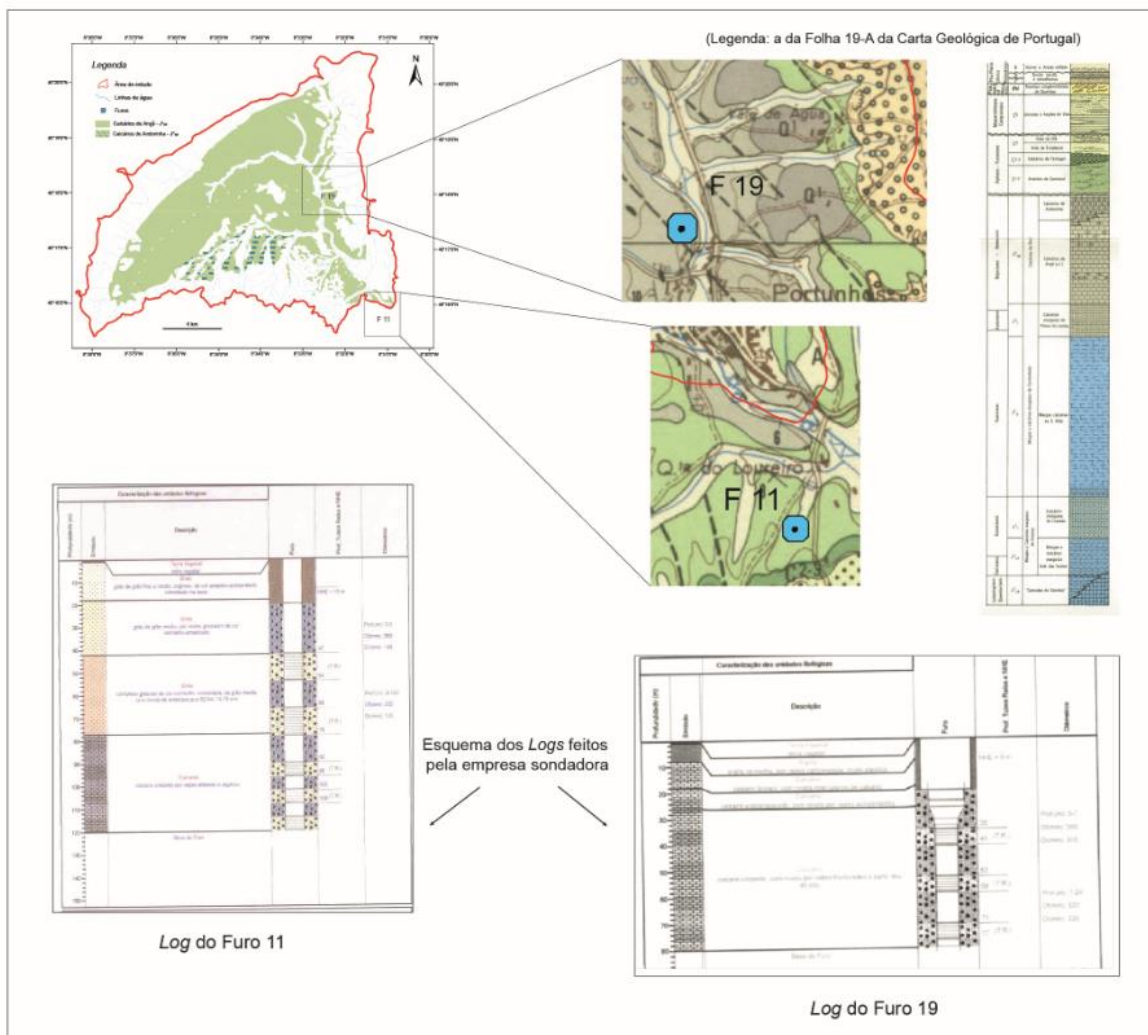


Figura 4.3 – Exemplo dos logs da sondagem de dois furos

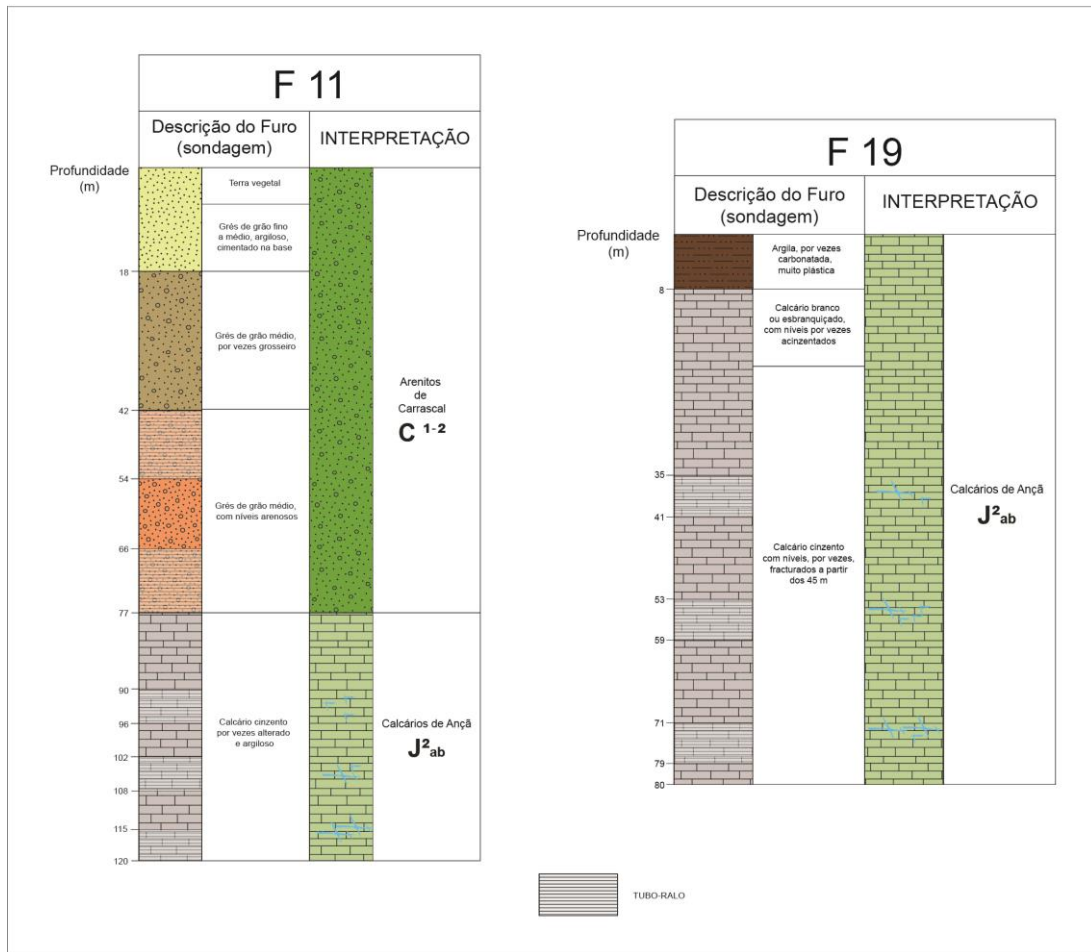


Figura 4.4 – Exemplos de Logs de duas sondagens, redesenhados e reinterpretados

Com base nos dados de cada furo, juntamente com dados de tectónica local e análise estrutural, litologia/reologia (variações litológicas dentro da unidade J^{2}_{ab}), análise geomorfológica e análise documental e cartográfica, definiram-se três sectores de estudo (Figura 4.2)

Sector Norte (ver Figura 4.2) – que engloba os furos F18, F20, F27 e F30, onde o sistema aquífero é de mais difícil compreensão, por marcar a fronteira entre duas unidades hidrogeológicas – J^{2}_{ab} (do Jurássico Médio) e J^{2}_{1} (do Jurássico Inferior). Como as camadas carbonatadas jurássicas pendem para SW, é provável que os estratos do Jurássico Inferior se estendam até ao limite N deste **sector**, até junto da fronteira com as camadas do Jurássico Médio. Tal facto confirma-se pela análise dos logs dos furos F14, F29 e F30 – estes dois últimos muito próximos um do outro; F29 implantado muito perto das aluviões da linha de água e F30 em terrenos calcários. No log da sondagem de F29, regista-se a existência de “terrenos calcários muito deteriorados e fracturados” e “calcários cinzentos por vezes fracturados”; no log da sondagem de F30, regista-se a existência de “calcário” e “calcário fracturado” – tais evidências justificam a inclusão de F30 no **sector Norte** e a

exclusão de F29 do mesmo sector (ver **Capítulo V**, Figura 5.2; ver **Capítulo VI**, Figura 6.5). À medida que caminhamos para SW, já dentro do **sector Norte**, as camadas do Jurássico Inferior tenderão a desaparecer, ou a ficar enraizadas a grande profundidade (possivelmente, graças a falhas associadas ao *horst* de Cantanhede). Isto confirma-se pela análise dos *logs* dos furos F18, F20, F27 e F30 e de elementos cartográficos. A fracturação e a carsificação das camadas calcárias de J^{2}_{ab} é já bastante notória a um nível superficial no bordo N do **sector Norte**, próximo do contacto com as camadas de calcários margosos do Jurássico Inferior J^{2}_{1} – o que indicia que J^{2}_{1} desempenhe um papel importante no confinamento do sistema aquífero que evolui em J^{2}_{ab} , (Figura 4.5).

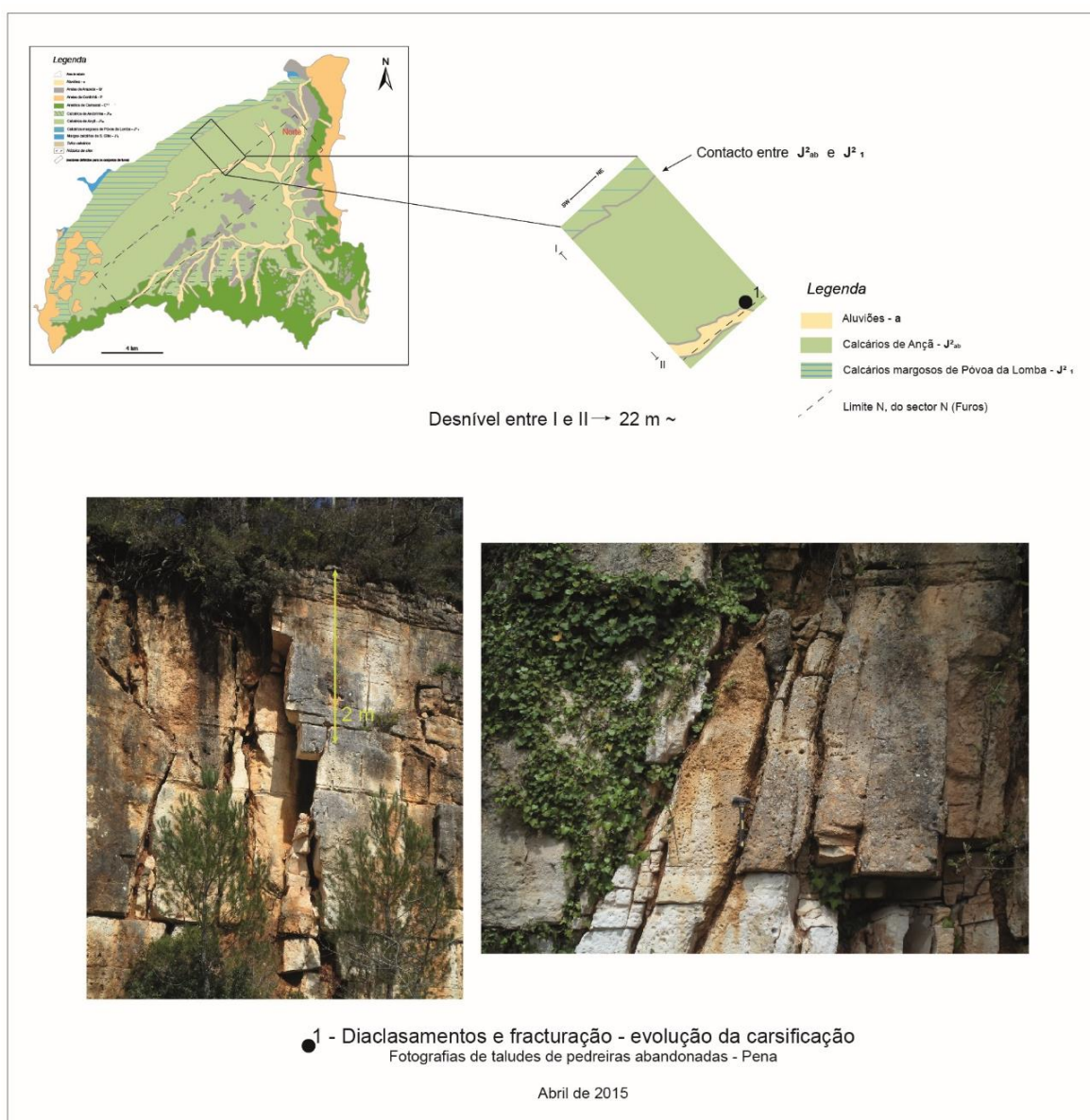


Figura 4.5 – Exemplos de alteração do maciço calcário da frente de exploração de antigas pedreiras, nas proximidades do contacto geológico entre J^{2}_{1} e J^{2}_{ab}

Sector Central (ver Figura 4.2) – que engloba os furos F15, F16, F17 e F19, onde o sistema aquífero se presume bem desenvolvido, profundo e hierarquizado. Este é um sector importantíssimo em termos morfo-estruturais – está cortado por uma série de falhas e outras fracturação e nele aparecem numerosas formas cársticas interessantes (grutas, algares, galerias, exurgências). O Furo F16 tem a sua base a 152 m de profundidade, sendo, do conjunto dos furos analisados, o mais profundo. Para que a esta profundidade ocorram níveis produtivos em água subterrânea é necessária a presença de um edifício cárstico, suportado por galerias e condutas várias. O furo F15 apresenta, inclusivamente, na descrição do *log* da sondagem, a informação de que foi encontrada uma caverna, durante o processo de furação, entre os 45 e 50 m de profundidade – o que corrobora ainda mais o afirmado anteriormente.

Sector Sul (ver Figura 4.2) – que engloba metade dos furos inseridos na área de estudo, F4, F6, F7, F8, F9, F10 e F11. Neste sector o sistema aquífero encontra-se bem desenvolvido e conhecido, pelo menos até à profundidade de 100 metros. O escoamento superficial e subterrâneo geral evolui na direcção deste sector, que se encaixa numa zona, à semelhança da do **sector Central**, também segmentada por uma série de falhas. Estas falhas terão ramificações para S-SE, pelo que se presume que este sector desempenhe um papel crucial na recarga aquífera do sistema aquífero vizinho (O3). Os furos do F6 e F11, apesar de se localizarem fora dos limites da área de estudo, captam água da unidade J_{ab}^2 .

A relação entre a análise e o tratamento dos dados dos *logs* dos furos e a compreensão, interpretação e esquematização dos mapas temáticos, ilustrações e modelos conceptuais foi simbiótica – só através da correlação datal se conseguiu uma boa abordagem ao estudo e modelação hidrogeológica

4.4 Quadro metodológico-síntese

Em baixo, apresenta-se um quadro-síntese da metodologia adoptada para esta dissertação (Figura 4.6).

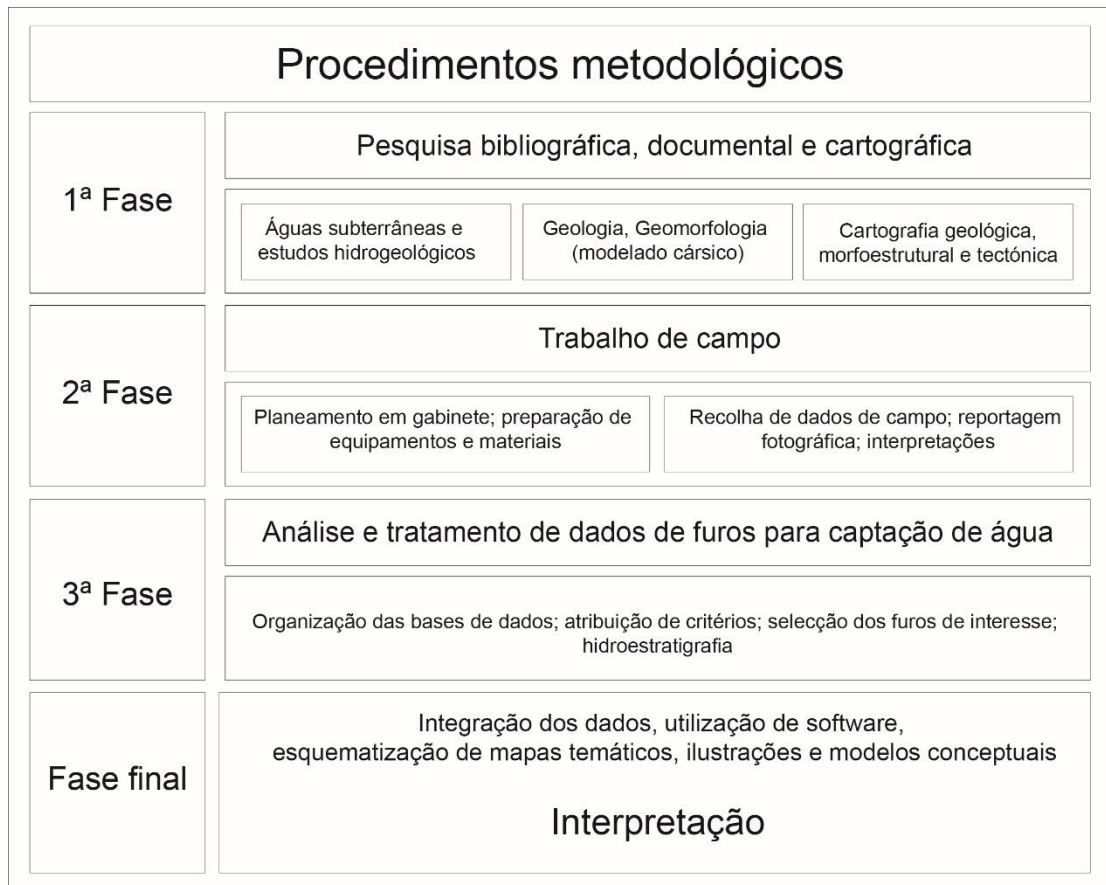


Figura 4.6 – Quadro-síntese com a metodologia seguida nesta dissertação

5. Capítulo V – Hidrologia

“A Hidrologia é a ciência que estuda a distribuição/organização das massas de água no planeta, as suas movimentações dentro do ciclo hidrológico, as suas propriedades e as suas relações com os restantes elementos do meio ambiente” (USGS, 2015).

No presente capítulo apresenta-se uma caracterização hidrográfica e hidrogeológica da área de estudo.

5.1 Hidrografia

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica da Ribeira de Ançã (RA), constituindo, assim, uma sub-bacia da grande bacia hidrográfica do rio Mondego. A drenagem pós-pleocénica criou as condições necessárias e suficientes para a configuração de uma rede hidrográfica que, em traços gerais, seria semelhante à actual (Dimuccio & Cunha, 1999), (Figura 5.1).

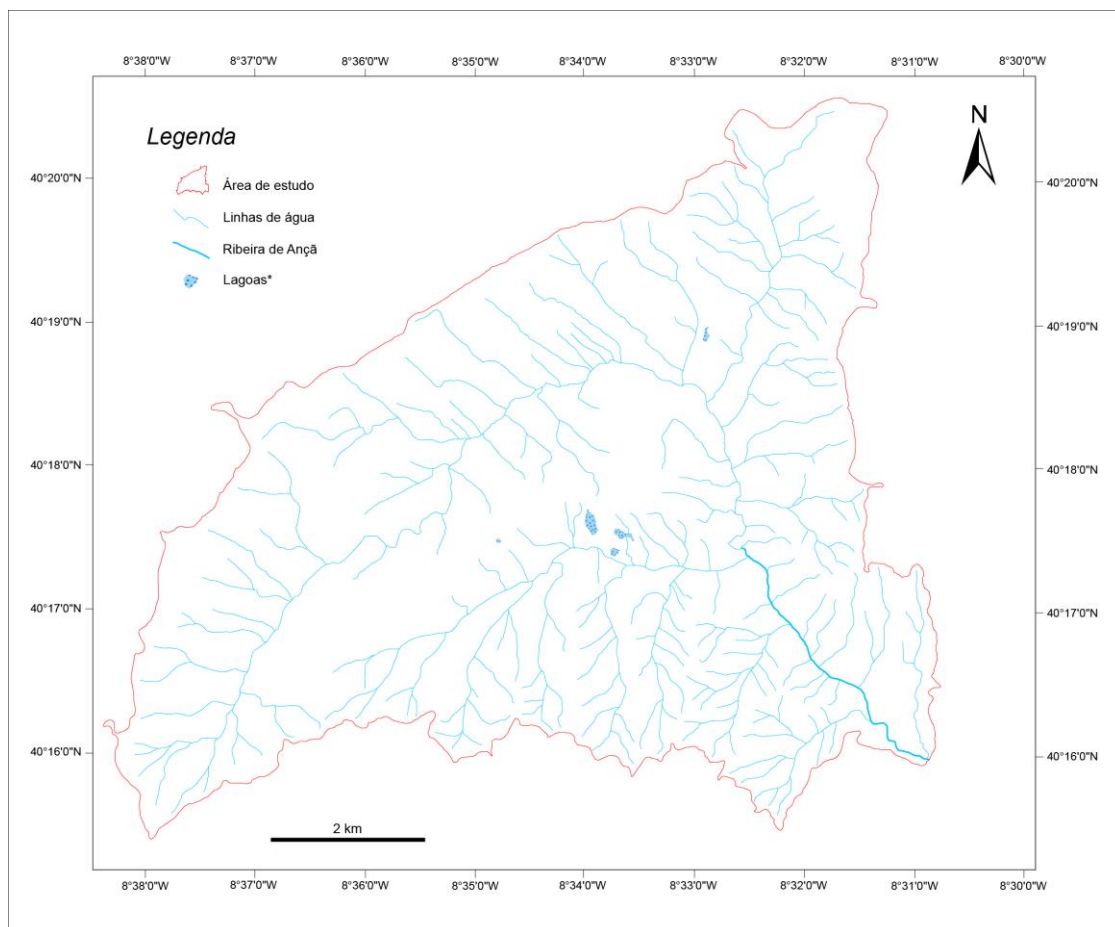


Figura 5.1 – Área de estudo com inclusão da rede hidrográfica e lagoas associadas às indústrias extractivas (adaptado da Carta Militar – folhas nº 218 e nº 229)

Em baixo, apresenta-se um quadro que resume alguns dos parâmetros morfométricos da bacia em estudo (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 – Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica da Ribeira de Ançã (área estudada)

Bacia Hidrográfica - Caracterização Morfométrica*		
Parâmetro		
P	Perímetro (m)	45000
L_t	Comprimento das linhas de água (m)	182388
L	Comprimento da maior linha de água (m)	17045
H_{max}	Cota Máxima (m)	128
H_{min}	Cota Mínima (m)	13
A	Área Plana total (m ²)	59000000
K_c	Coeficiente de capacidade (k _c)	1,640380278
K_f	Factor forma (K _f)	0,196111654
K_a	Coeficiente de alongamento (K _a)	0,281923855
K_h	Coeficiente de homogeneidade (K _h)	0,181820731
H_{med}	Altitude média (m)	80
K_{ma}	Coeficiente de massividade (K _{ma})	1,35593E-06
K_o	Coeficiente orográfico (K _o)	0,000108475
I_d	Índice de declividade (I _d)	0,006630153
D_d	Densidade de drenagem (km ⁻¹)	0,003091322
p_{med}	Percurso médio de escoamento (p_{med})	80,87154857
* Adaptado de Azevedo, 2014		

Do conjunto de valores obtidos, destaca-se o valor médio a baixo da densidade de drenagem, o qual aponta para uma importante percentagem de infiltração relativamente ao escoamento superficial.

O controlo estrutural na bacia é bastante evidente – esta apresenta uma morfologia em leque, pouco ovóide ou alongada. Possuindo no geral um relevo suave (índice de declividade moderado), apresenta, apesar de tudo, ao longo do corredor SE-NW, um relevo acidentado (Figura 5.2).

A rede hidrográfica correlaciona-se com os sistemas de fracturação, coincidindo a drenagem superficial, em muitos casos, com os corredores de fracturação do maciço rochoso. Por exemplo, as linhas de água do troço NW, a norte da povoação de Pena, apresentam um carácter similar às redes de drenagem do tipo paralelo. Sobre os calcários de Ançã e de Andorinha, a rede de drenagem é incisiva, de tipo subsequente, ressaltando os subsidiários confluentes para a ribeira de Ançã, de tipo obsequente e consequente, rectilíneos e encaixados, alinhados SW-NE – são exemplo a Ribeira do Zambujal e a Ribeira

dos Fornos da Cal (Barbosa *et al.*, 1998; Dimuccio & Cunha, 1999) (ver **Capítulo III**, Figura 3.12). A Ribeira dos Fornos da Cal desagua em RA, a sul de Portunhos – o seu traçado foi, no entanto, alterado, devido ao crescimento das pedreiras nas imediações. A Ribeira do Zambujal foi considerada o prolongamento da RA, para a zona de montante, pelo que, juntas, constituem a maior linha de água da bacia (Figura 5.3).

As linhas de água principais apresentam regime perene.

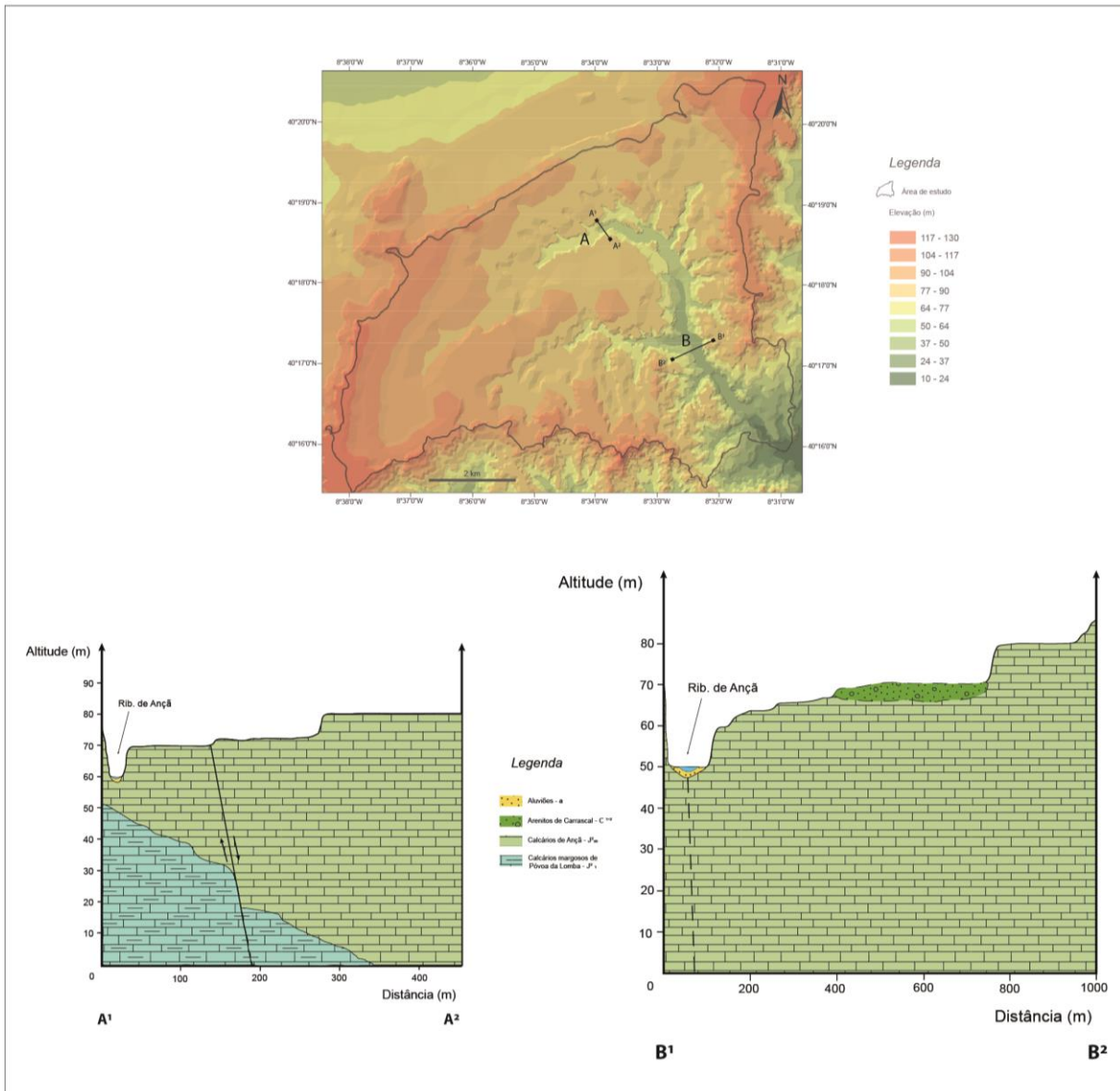


Figura 5.2 – Cortes transversais no vale de RA. De notar os vales de paredes abruptas, associados, provavelmente, a zonas de fracturação

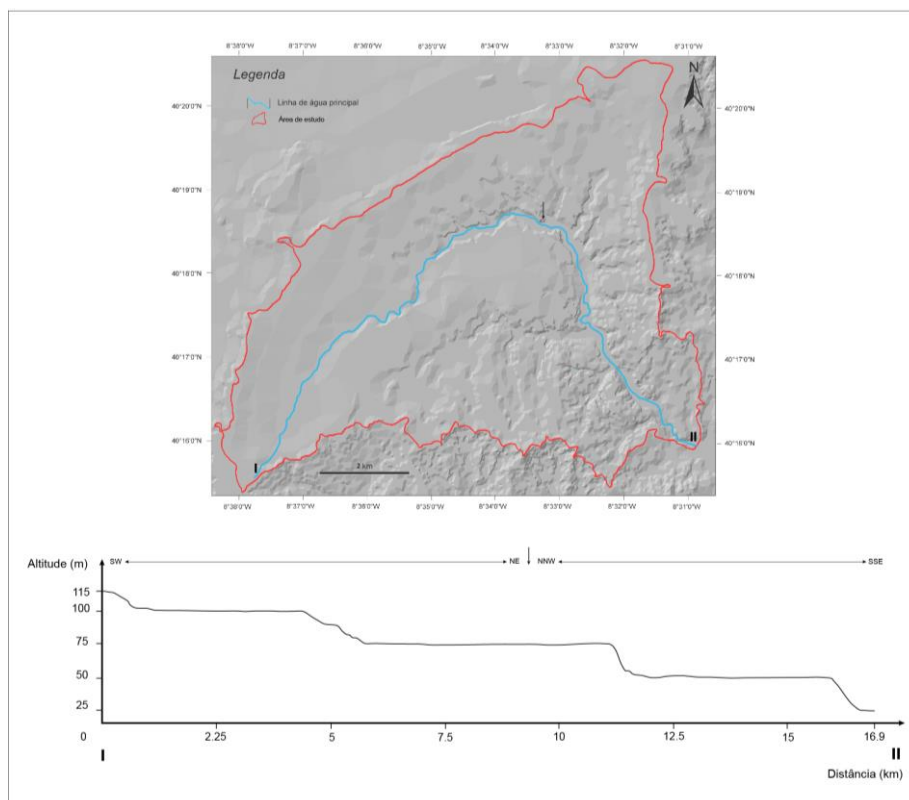


Figura 5.3 – Perfil longitudinal de RA (as quebras no perfil não correspondem, necessariamente, a zonas de degraus altimétricos no leito do rio; poderão ser erros de leitura cartográfica)

5.2. Hidroclimatologia e Balanço hídrico local

Na tabela seguinte (Tabela 5.2) apresentam-se os dados do balanço hídrico local.

Tabela 5.2 – Parâmetros hidro-climatológicos e balanço hídrico na área de estudo

Balanço hídrico		
P_{anual}^*	Precipitação média anual (mm/ano)	1093
$R_{\text{t anual}}^{**}$	Retenção do solo (mm/ano)	40
E_{anual}^*	Escoamento superficial (mm/ano)	200
ETR_{anual}^*	Evapotranspiração anual (mm/ano)	600-700
I_{anual}^*	Infiltração - <u>recarga média anual</u> - (mm/ano)	253
S	<i>Superavit</i> hídrico	453
<i>Input</i> hídrico total na bacia hidrográfica (hm^3)		64487
Recarga aquífera média na região (mm/ano) [PBRH4 - 420 mm/ano]		253
* PBRH4, 2012 & SNIHR, 2012 ** Walker & Skogerboe, 1987		

O valor do escoamento superficial poderá estar sobrevalorizado – a drenagem na bacia é má (ver Tabela 5.1). No entanto, no que toca aos restantes parâmetros, as deduções parecem coincidir com as propostas apresentadas nos documentos do PBRH4 e do SNIHR (2012). O maciço calcário encontra-se carsificado, promovendo uma boa e rápida

infiltração e consequente recarga aquífera (Figura 5.4), considerando-se, por isso, o valor da recarga aquífera aproximadamente igual ao da infiltração.

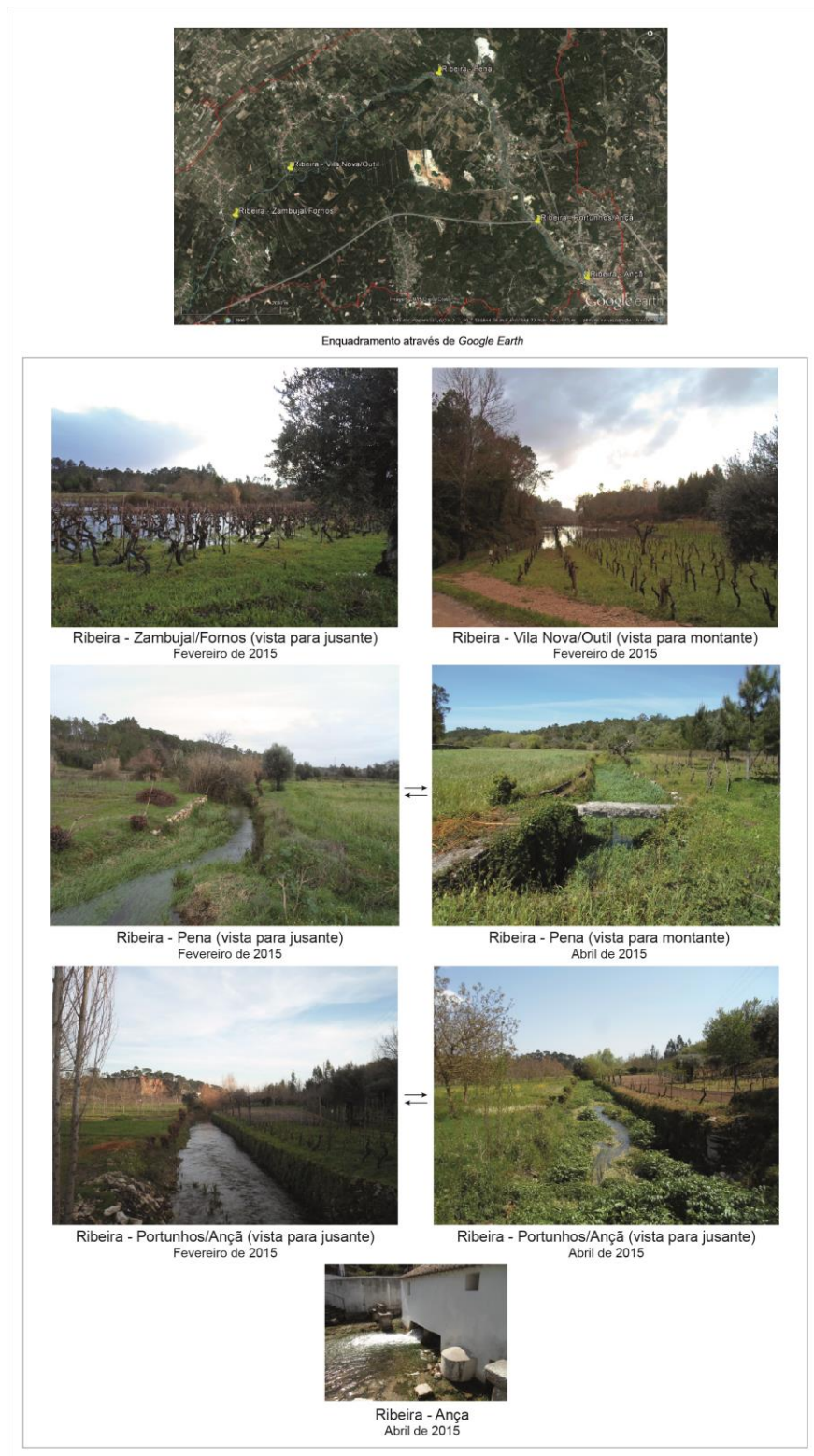


Figura 5.4 – Diferentes aspectos de algumas linhas de água da zona de estudo, ao longo dos meses de Fevereiro e Abril

5.3 Hidrogeologia

A Hidrogeologia é a parte da Hidrologia que se interessa pelo estudo do armazenamento, circulação e distribuição das águas terrestres na zona saturada das formações geológicas, tendo em conta as suas propriedades físicas e químicas, as suas interações com o meio físico, biológico e antropológico (Rodrigues, 1981).

A realização de um estudo hidrogeológico em aquíferos cársicos é frequentemente um processo complicado e complexo. Entre outros critérios, deve ser tomado em atenção que a circulação hídrica no modelado cársico se processa por mecanismos não completamente estudados que, à partida, impõem algumas condicionantes ao estudo.

Neste subcapítulo é apresentado um enquadramento hidrogeológico do local de estudo, caracterizando e classificando hidrologicamente as formações geológicas existentes.

5.3.1 Enquadramento hidrogeológico

No domínio seleccionado para este estudo – bacia hidrográfica da Ribeira de Ançã – evolui um sistema aquífero – o Sistema Aquífero de Ançã-Cantanhede (O4). Este sistema enquadra-se na unidade hidrogeológica da **Orla Ocidental**, que compreende vários sistemas aquíferos associados a formações sedimentares carbonatadas e detríticas.

Os limites da área de estudo coincidem praticamente com os limites do sistema aquífero local (constituído pelas unidades aquíferas de J^2_{ab}). Este sistema é limitado, a N, pelo Sistema Aquífero do Cársico da Bairrada (O3), já integrado na bacia hidrográfica do Vouga, pelo Sistema Aquífero da Orla Ocidental (indiferenciado) e, a S, pelo Sistema Aquífero de Tentúgal (O5). A presença deste conjunto de sistemas aquíferos conferem considerável importância a esta região, pois, para além de integrar duas bacias hidrográficas, possibilita a captação e o abastecimento público de água aos concelhos de Cantanhede, Mira e Montemor-o-Velho (Figura 5.5).

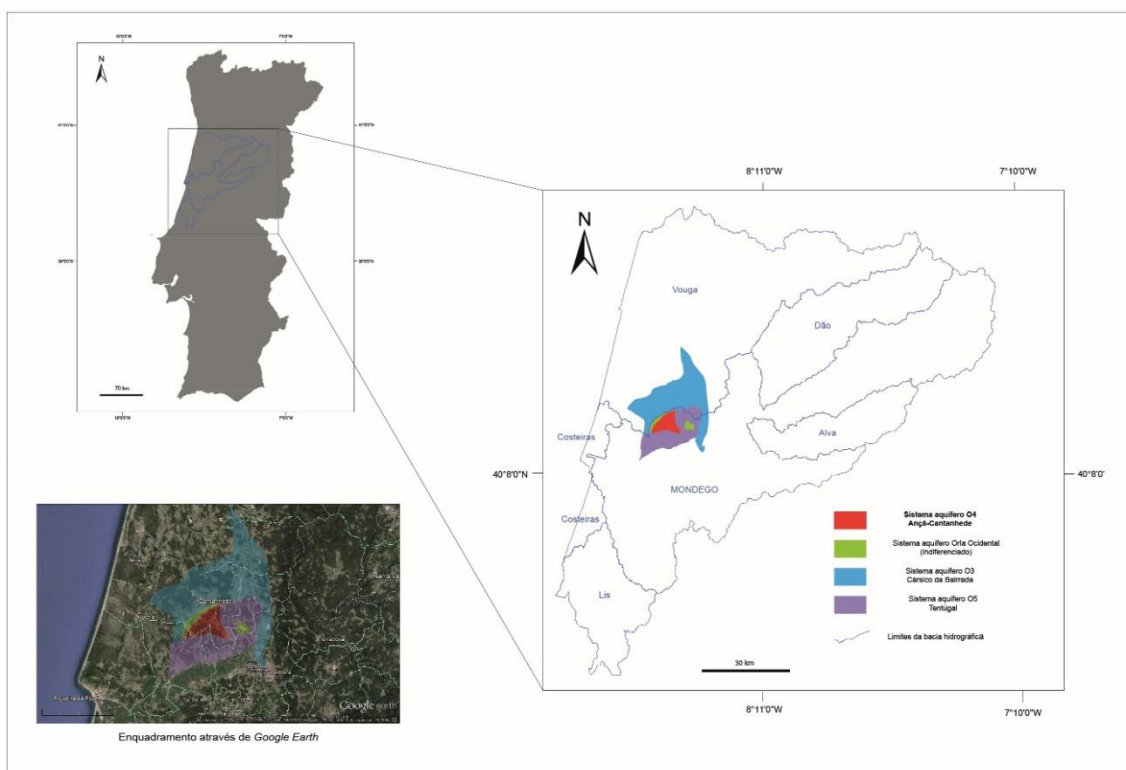


Figura 5.5 – Localização do sistema aquífero no contexto das bacias hidrográficas da Região Centro – Unidade hidrogeológica da Orla Ocidental (adaptado de APA, 2015 e de SNHIR, 2015)

5.3.2 Classificação hidrogeológica e caracterização das unidades aquíferas

Com base em dados bibliográficos, observações de campo e análise de relatórios e logs de furos hidrogeológicos implantados na região, definiram-se as principais características hidrogeológicas de cada formação existente no domínio em análise (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Classificação hidrogeológica das formações da área de estudo

Classificação hidrogeológica das formações da bacia hidrográfica de Ançã*			
Formação/ Unidade geológica	Porosidades (%) - n; ne **	Condutividade hidráulica (m/d)	Classificação hidrogeológica
Aluviões (a)	25 a 50; 15 a 30	10^{-1}	Aquífero (poroso)
Areias de Arazede (Q_1)	Níveis argilosos: 45 a 50; 0 a 10	10^{-4} a 10^{-3}	Aquífero (poroso) - pouca expressão
Areias de Cordinhã (P)	Níveis argilosos: 45 a 50; 0 a 10	10^{-2} a 10^{-3}	Aquífero (poroso)
Arenitos do Carrascal ($C^{1,2}$)	Níveis arenosos: 5 a 30; Níveis argilosos: 0 a 15	10^{-4}	Aquífero (poroso)
Calcários de Ançã e Calcários de Andorinha (J^2_{ab})	7 a 56; 3 a 20	10^{-2}	Aquífero (cársico)
Calcários margosos de Póvoa da Lomba (J^2_1)	10 a 20; 5 a 10	10^{-7} a 10^{-5}	Aquitardo
Margas calcárias de São Gião (J^1_g)	0 a 10; 0 a 5	10^{-9}	Aquitardo-aquícluso

*Adaptado de Azevedo, 2008

** segundo DL 382/99

De acordo com o exposto na Tabela 5.3, e atendendo aos reconhecimentos de campo, é recomendável agrupar as unidades aquíferas locais em quatro conjuntos: (1) Aquíferos não confinados aluvionares (a); (b) Aquíferos não confinados, alguns possivelmente suspensos, das Areias de Cordinhã (P); (c) Aquíferos confinados e não

confinados, por vezes suspensos, dos Arenitos de Carrascal (C¹⁻²); (d) Aquíferos cársicos dos Calcários de Ançã e Calcários de Andorinha (J²_{ab}) (Formações aquíferas dominantes, que correspondem ao Sistema Aquífero de Ançã-Cantanhede).

Seguidamente (Tabelas 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7) são indicadas as principais características/parâmetros hidrogeológicos dos quatro tipos de unidades aquíferas identificadas.

Tabela 5.4 – Unidades aquíferas aluvionares das Aluviões (a)

Unidade aquífera - Matriz de classificação*	
Aluviões (a)	
Característica/Parâmetro	Descrição
Geometria/dimensão [morfologia; espessura (m); extensão (km ²)]	Depósitos aluvionares, nalguns troços das linhas de água; 5-10 ~; reduzida
Litologia	Areias, siltes e alguns depósitos co-aluvionares
Porosidades - <i>n</i> ; <i>ne</i> ** (%)	Níveis arenosos/co-aluvionares: 5 a 35; 20 a 30
Condutividade hidráulica - <i>K</i> **	10 ⁻³ a 10 ⁻¹
Gradiente hidráulico - <i>i</i> (com base nos furos F30 e F6 - Figura 23)	n.d
Recarga aquífera	A partir da precipitação directa sobre a superfície
Descarga aquífera	Poços, unidades contíguas; abastecimento da unidade aquífera (J ² _{ab})
Tipo de aquífero**	<u>Tipo 2</u> - sistema aquífero livre cujo suporte litológico é constituído por formações porosas;
*Adaptado de Azevedo, 2008	
** segundo DL 382-99	

Tabela 5.5 – Unidades aquíferas aluvionares das Areias de Cordinhã (P)

Unidade aquífera - Matriz de classificação*	
Areias de Cordinhã (P)	
Característica/Parâmetro	Descrição
Geometria/dimensão [morfologia; espessura (m); extensão (km ²)]	Tapetes sedimentares; 5-10 ~; 6,4
Litologia	Quartzo-arenitos finos a médios. Arcoso-arenitos médios a grosseiros. Apresentam alguns níveis argilosos
Porosidades - <i>n</i> ; <i>ne</i> ** (%)	Níveis arenosos/cascalhentos: 10 a 30; 5 a 25; Níveis argilosos: 45 a 50; 0 a 10
Condutividade hidráulica - <i>K</i> **	10 ⁻⁴ a 10 ⁻³
Nível hidrostático (profundidade)** (m)	Relativamente superficial (6 ~)
Gradiente hidráulico - <i>i</i> (com base nos furos F30 e F6 - Figura 23)	n.d
Recarga aquífera	A partir da precipitação directa sobre as superfícies que constituem estes depósitos
Descarga aquífera	Nascentes dispersas, provavelmente associadas a níveis mais impermeáveis, argilosos; transferência de água para unidades aquíferas contíguas (C ¹⁻² e J ² _{ab})
Tipo de aquífero**	<u>Tipo 2</u> - sistema aquífero livre cujo suporte litológico é constituído por formações porosas;
*Adaptado de Azevedo, 2008	
** segundo DL 382-99	

É notório o carácter muito pouco profundo a sub-superficial destas duas unidades aquíferas, confirmado pela observação da distribuição dos poços na área de estudo – estão todos praticamente construídos sobre depósitos de **a** ou de **P** (havendo alguns sobre formações aquitardas, no bordo NW). Esta distribuição também revela que o maciço calcário, muito fissurado, se apresenta, assim, pouco produtivo nos níveis mais superficiais (Figura 5.6).

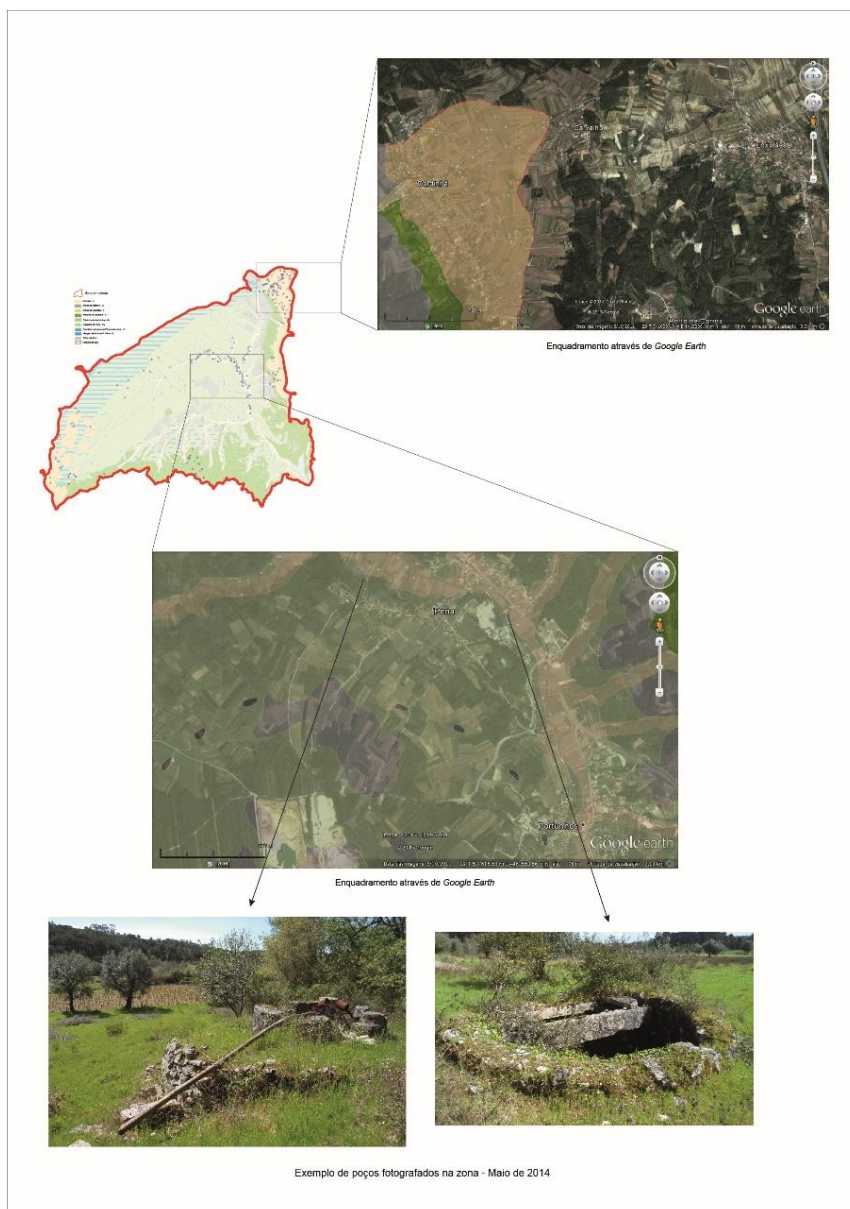


Figura 5.6 – Localização de alguns poços, na área de estudo, em unidades aquíferas freáticas (não confinadas)

Tabela 5.6 – Unidades aquíferas dos Arenitos de Carrascal (C^{1-2})

Unidade aquífera - Matriz de classificação*	
Arenitos de Carrascal (C^{1-2})	
Característica/Parâmetro	Descrição
Geometria/dimensão [morfologia; espessura (m); extensão (km^2)]	Superfície mais ou menos plana, retalhada por linhas de água; 50-150 -; 11,2
Litologia	Quartzo-arenitos a arcoso-arenitos grosseiros a muito grosseiros, conglomeráticos, com cascalheiras e seixos quartzosos/pelíticos. Apresenta níveis argilosos
Porosidades - n ; ne^{**} (%)	5-30; 0 a 15
Condutividade hidráulica - K^{**}	$1 \cdot 10^{-5}$
Nível hidrostático (profundidade)** (m)	Cerca de 70 m (pela análise do \log de F13)
Gradiente hidráulico - i (com base nos furos F30 e F6 - Figura 23)	n.d
Recarga aquífera	A partir da precipitação directa sobre os depósitos cretácicos.
Descarga aquífera	Níveis não confinados e níveis confinados; pode haver aquíferos suspensos. Drenância para a unidade aquífera do Jurássico (J^{ab}); para nascentes a S, SSW, no sistema aquífero de Tentúgal
Tipo de aquífero**	Tipo 3 - sistema aquífero semiconfinado cujo suporte litológico é constituído por formações porosas

*Adaptado de Azevedo, 2008
 ** segundo DL 382-99

Tabela 5.7 – Unidades aquíferas dos Calcários de Ançã (J^2_{ab})

Unidade aquífera - Matriz de classificação*	
<i>Calcários de Ançã [e Calcários de Andorinha] (J^2_{ab}) - Sistema aquífero cársico, de produtividade média, em que a profundidade máxima conhecida pela pesquisa e captação de águas é de 120 metros</i>	
Característica/Parâmetro	Descrição
Geometria/dimensão [morfologia; espessura (m); extensão (km ²)]	Planalto pouco extenso em anticlinal/monoclinal; 250 -; 26
Litologia	Calcários de Ançã - micríticos/calco-detríticos com 250±30 m de espessura; [Calcários de Andorinha - oolíticos/calcioclásticos com 60 m de espessura]
Porosidades - n ; ne^{**} (%)	7-56; 3-20 (não se trata de um aquífero poroso)
Condutividade hidráulica - K^{**} (m/s)	10^{-2} (Grau de Permeabilidade médio, segundo Gerscovich, 2011)
Nível hidrostático (profundidade)** (m)	entre 78 e 120 na parte mais profunda do sistema; entre 19 e 39 na parte mais superficial do sistema
Gradiente hidráulico - i (com base nos furos F30 e F6 - ver Figura 4.2)	$3,9 \times 10^{-2}$
Retenção específica Sr^{**} (%)	2
Armazenamento específico - Ss^{**} coeficiente de armazenamento - S	entre 1×10^{-6} e $2,1 \times 10^{-5}$
Cedência específica - Sy^{**} (%)	18
Trasmisividade - T^{**} (m ² /dia)	5; 37; 118 e 358
Disponibilidade hídrica ΔS (hm ³ /ano e em %)	10 e 0,4
Extracções de água (m ³ /ano)	42 599
Produtividade (L/s)**	Mediana = 1,3
Fácies química da água do aquífero	Bicarbonatada cálcica
Recarga aquífera	A partir da precipitação directa sobre o planalto dos calcários (J^2_{ab}); sobre depressões cársicas preenchidas por depósitos do Cretácico e Quaternário (C^{1-2} e Q^1); drenância a partir de aquíferos (J^2_1)
Descarga aquífera	O sistema apresenta uma rede cársica bem desenvolvida e hierarquizada, possuindo duas descargas naturais importantes: nascentes de Ançã e Portunhos, na margem ocidental da linha de água principal. Este sistema aquífero poderá descarregar para o sistema de Tentúgal,
Balanço hídrico na unidade (hm ³ /ano)**	Recarga=10 a 12 hm ³ /ano; saídas através das nascentes= 11,6 hm ³ /ano
Piezometria/Direcções de Fluxo [circulação intra-aquífera (ver Figura 5.10)]	Sentido geral do escoamento subterrâneo de noroeste para sudeste
Tipo de aquífero**	<u>Tipo 4</u> - sistema aquífero cujo suporte litológico é constituído por formações carbonatadas
*Adaptado de Azevedo, 2008	
** n - Morris and Johnson 1967; ne - segundo DL 382-99; K - Heath, 1983; Nível hidrostático - Almeida et al., 2000; Sr - Heath, 1983; Ss - Batu, 1998; Sy - Heath, 1983; T - PBRH4, 2012; ΔS - PBRH4, 2012; Extracções de água - PBRH4, 2012; Produtividade - SNIRH, 2015; Balanço hídrico na unidade - SNIRH, 2015; ** segundo DL 382-99	

As unidades aquíferas implantadas nas formações jurássicas dos Calcários de Ançã (J^2_{ab}) são claramente as mais importantes em termos quantitativos da área em estudo e, como referido anteriormente, constituem o Sistema Aquífero de Ançã-Cantanhede (O4).

5.3.3 Hidrodinâmica do Sistema Aquífero Ançã-Cantanhede (O4)

Após a classificação e caracterização hidrogeológicas das formações e depósitos sedimentares presentes no domínio em estudo, apresenta-se, seguidamente, uma interpretação hidrodinâmica subterrânea local, que inclui: (1) a circulação e o armazenamento intra-aquíferos; (2) a hidrodinâmica inter-aquíferos e entre aquíferos e massas de água superficiais; (3) os processos de recarga e descarga das massas de água subterrâneas.

O limite inferior (muro) do sistema aquífero que está inserido na região – sistema aquífero Ançã-Cantanhede (O4), definido pelos limites geográficos das unidades J_a^2 – corresponde aos termos mais margosos da parte inferior dos calcários de Póvoa da Lomba e pelas margas de São Gião (J_{1g}^2 e J_g^1 , respectivamente).

Os calcários de Ançã (formação aquífera) apresentam carsificação relativamente profunda, que se presume sem preenchimento, enquanto os calcários de Andorinha (formação aquífera) apresentam um preenchimento argiloso do paleocarso. A elevada permeabilidade das coberturas sedimentares pós-jurássicas prevê que este paleocarso seja promotor de um bom desenvolvimento do carso subterrâneo.

Na área de estudo, a recarga faz-se fundamentalmente a partir da precipitação directa sobre o planalto ocupado com os calcários jurássicos, onde há infiltração através da matriz dos carsos fósseis e das fissuras expostas até aos sistemas de condutas cársicas. Presume-se, através das observações de campo, sobretudo no sector Central (ver **Capítulo III**, Figuras 3.18; 3.19 e 3.20), que o armazenamento aquífero e a circulação sub-horizontal da água subterrânea não ocorra apenas em condutas e outras estruturas de carsificação profundas, mas também evolua em níveis menos profundos e em sectores da zona vadosa, nomeadamente ao longo dos planos e domínios de intensa fracturação (sendo que o contributo dos planos de estratificação parece ser, no entanto, pouco significativo), (Figura 5.7).

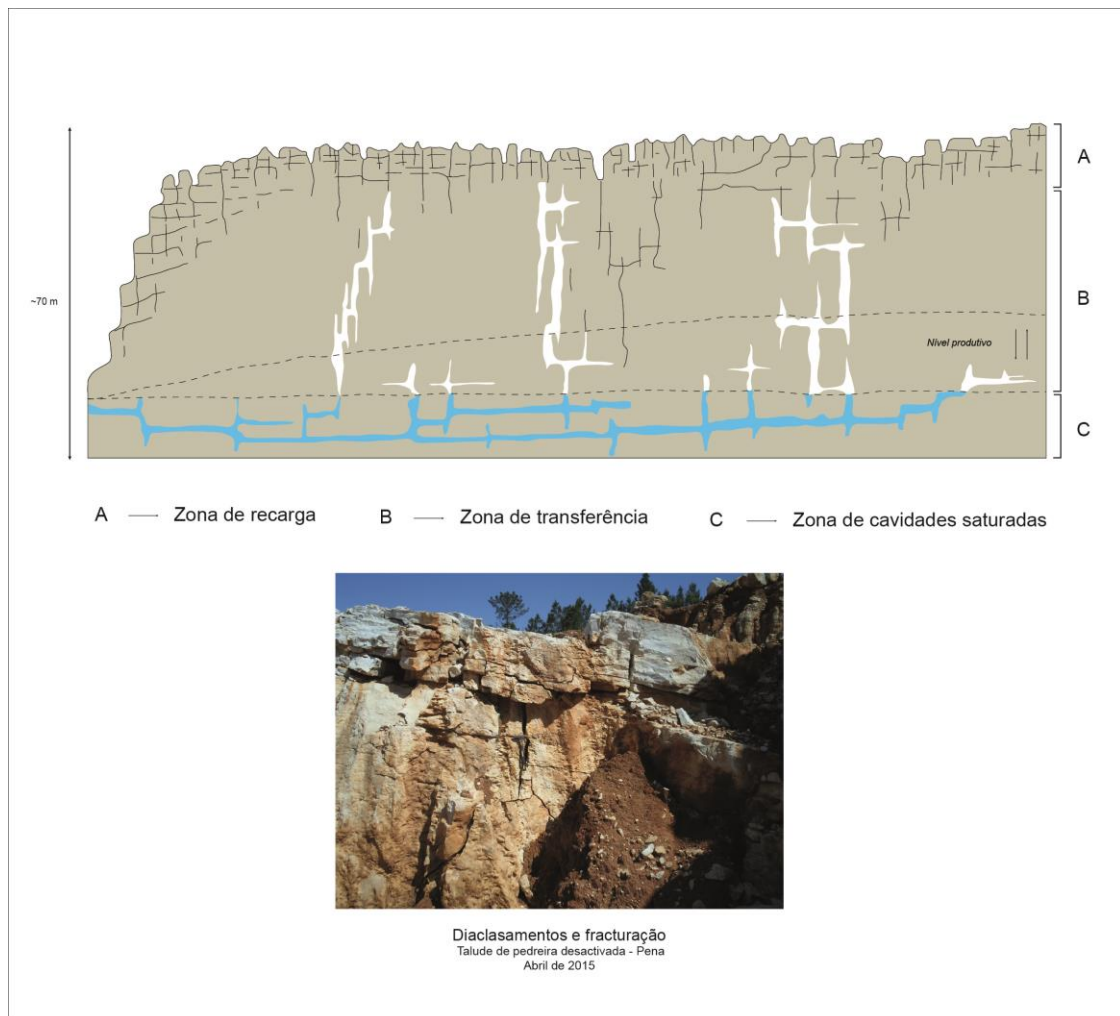


Figura 5.7 – Esquema interpretativo da circulação hídrica subterrânea no edifício cársico da área de estudo (adaptado de CMR, n.d.)

Outro processo de recarga das diversas unidades do sistema aquífero Ançã-Cantanhede (O4) corresponderá a fenómenos de drenância através das camadas margocalcárias (bastante fissuradas) e que constituem a unidade aquífera do Jurássico Inferior (sobretudo de J^2_1), para os calcários do Jurássico Médio (J^2_{ab}) – a existência de exurgências perto do bordo estrutural da baica, sobre J^2_1 (marcadas na folha n.º 218-Cantanhede, da Carta Militar; ver Figura 5.7) aponta para isso mesmo. Para além dos processos acima referidos, a recarga aquífera decorrerá também de fluxos hídricos descendentes a partir dos depósitos cretácicos (C^{1-2}).

Dependendo da localização e proximidade relativamente às diversas unidades aquíferas e aos eixos principais de escoamento subterrâneo, as linhas de água perenes funcionam quer como influentes (sector NW-NE, sobretudo), quer como efluentes (sector S, SE) do sistema aquífero (PBRH4, 2012).

A descarga das unidades aquíferas em estudo é feita nas nascentes locais, com destaque para as nascentes de Portunhos (Olho da Giota/Olho da Grot) e de Ançã. Estas exsurgências são os pontos de descarga natural mais importantes do sistema aquífero, apresentando, porém, grandes variações sazonais de caudal. Os caudais da nascente de Ançã variam de 116 a 949 L/s, com uma média geométrica de 368 L/s (Almeida *et al.*, 2000a). Em baixo (Tabela 5.8), apresentam-se dados da nascente da Ançã durante os meses de Janeiro e Março (cortesia da APA, ARH-Centro, 2015).

Tabela 5.8 – Caudal na Ribeira de Ançã

Ribeira de Ançã		
Dia	Q - caudal (m ³ /s)*	
jan/14 -	-	-
fev/14 -	-	-
mar/14	7	0,19
abr/14 -	-	-
mai/14	15	0,205
jun/14 -	-	-
jul/14	3	0,331
ago/14 -	-	-
set/14	10	0,298
out/14	16	0,138
nov/14	12	0,307
dez/14 -	-	-
jan/15	7	0,126

* dados fornecidos [cortesia da APA (ex-ARH-Centro)]

Em baixo apresenta-se um mapa com as principais nascentes existentes na área de estudo (Figura 5.8).

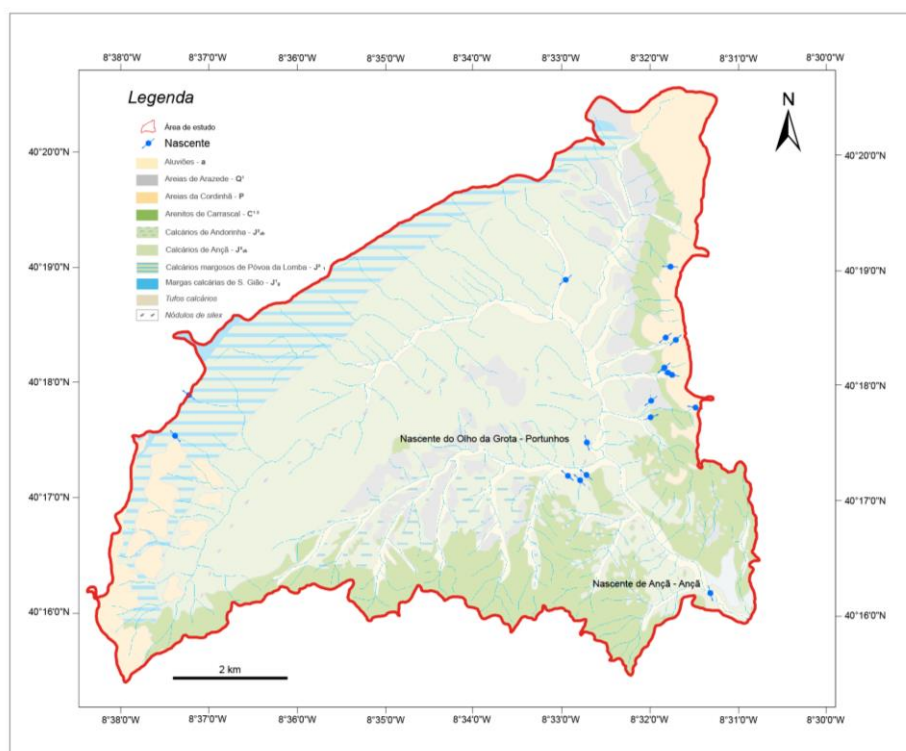


Figura 5.8 – Localização das nascentes existentes na área de estudo

As nascentes de Portunhos e de Ançã estão na margem W (direita) de RA, situando-se às altitudes de 48 e 36 m, respectivamente. O Olho da Grota (Figura 5.9), localizado a S da aldeia de Portunhos, é uma exsurgência perene, normalmente utilizada como captação de água para os campos agrícolas circundantes (NALGA, 2015). A nascente situa-se próximo do flanco E de uma dobra/flexura sinclinal (ver **Capítulo III**, Figura 3.12) e foi inclusive objecto de estudo de aproveitamento hídrico, para a Câmara Municipal de Cantanhede, em 1952, pela equipa de sondagens *Keller*. Esta exsurgência está associada a um sistema de condutas e galerias subterrâneas, possuindo um corredor de entrada com cerca de 1,6 m de altura por 1,2 m de largura (NALGA, 2015). Uma das galerias deste sistema hídrico está preenchida por argilas, areias e calhaus semi-arredondados, de granulometria diversa (depósitos transportados pelas águas de infiltração), que pertencem, assumidamente, a formações do Pliocénico (NALGA, 2015). Tal evidência vem confirmar a tese de que este sistema aquífero já se encontraria bem desenhado no final do Terciário.



Figura 5.9 – Localização e fotografias da nascente do Olho da Grot

Presume-se que alguns depósitos aluvionares possam cobrir outras nascentes, suportadas pela formação de J_{ab}^2 , de carácter permanente ou periódico. Na área em estudo,

há ainda algumas nascentes na zona NE, perto dos bordos das formações pliocénicas e cretácicas, que se presume estarem associadas a níveis com aquíferos suspensos (ver Figura 5.8).

Com base na dimensão e desenho de algumas galerias (Olho da Grotta) e no funcionamento hidrológico activo bem patente nas exurgências de Portunhos, Ançã, presume-se que a rede cársica esteja bem desenvolvida e hierarquizada.

No conjunto dos processos de descarga das unidades aquíferas cársicas, há ainda que considerar a provável transferência de água para aquíferos adjacentes (laterais ou mais profundos) e processos não-naturais, como por exemplo a captação em poços e furos.

Em função das evidências estruturais (atitude da estratificação e das principais famílias de fracturação), geomorfológicas, hidrográficas e hidrogeológicas, nomeadamente da localização das zonas de recarga e descarga é expectável que o sentido geral do escoamento seja de NNW para SSE. Os maiores pontos de descarga do sistema aquífera localizam-se no sector SE. O fluxo subterrâneo é visivelmente condicionado pelo desenho do maciço (Figura 5.10).

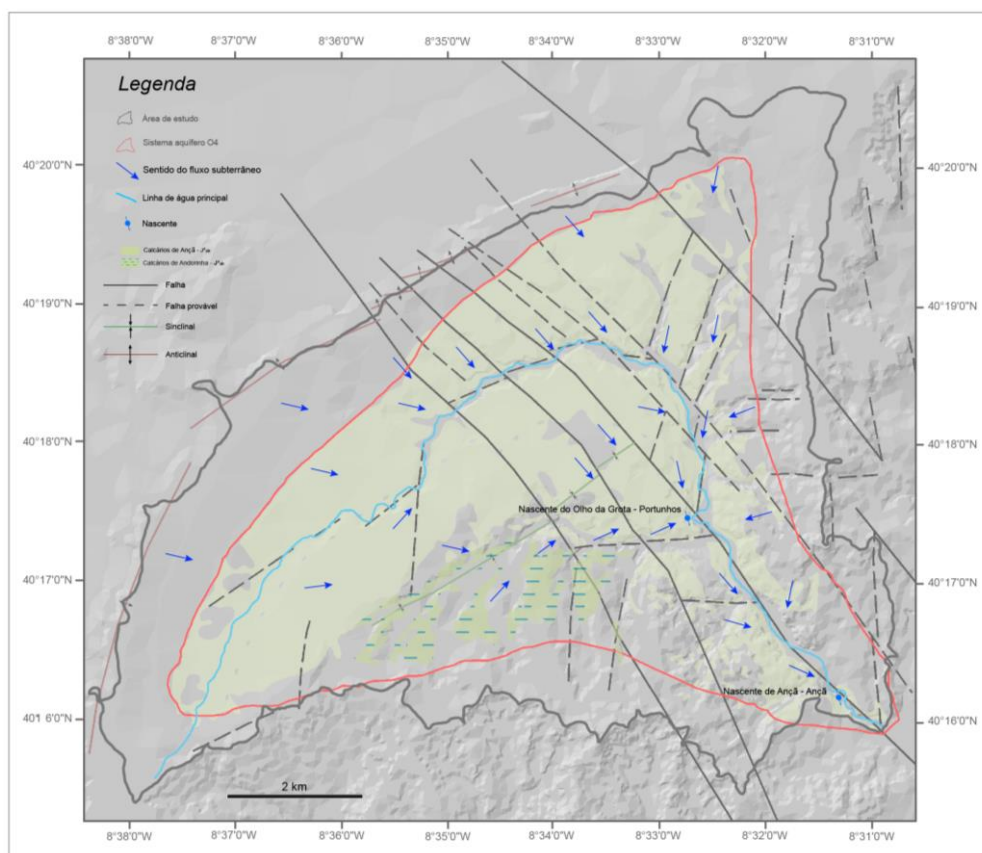


Figura 5.10 – Carta interpretativa do sentido geral do escoamento hídrico subterrâneo no sistema aquífero cársico da área de estudo

6. Capítulo VI – Modelação hidrogeológica conceptual, Conclusões e Recomendações

Após as caracterizações geológica-estrutural e geomorfológica, efectuadas no **Capítulo III**, conjuntamente com as caracterizações hidrográfica e hidrogeológica, efectuadas no **Capítulo V**, e com apoio do que foi expresso no **Capítulo IV**, construíram-se modelos conceptuais que pretendem explicar a hidrodinâmica subterrânea na área de estudo.

6.1 Modelação hidrogeológica conceptual

Na construção da modelação hidrodinâmica para a área de estudo, foram tidos em conta os seguintes argumentos: (1) geológicos/morfo-estruturais – litologia, análise estrutural e tectónica; (2) hidrológicos – análise da hidrologia superficial; (3) hidrogeológicos – enquadramento hidrogeológico, análise de relatórios e *logs* de furos implantados na área de estudo para a captação de água; (4) bibliográficos. Dentro da área de estudo, foram realizadas **modelações sectoriais** e **modelações 3D**.

6.1.1 Modelação sectorial

No conjunto das unidades aquíferas identificadas, destacam-se as unidades aquíferas que evoluem nas formações dos calcários jurássicos J_{ab}^2 . Para estas unidades, constituintes do Sistema Aquífero de Ançã-Cantanhede (O4), Almeida *et al.* (2000a) identificaram o nível hidrostático mais profundo no sector mais alto do sistema – sector Norte e Central - variando entre os 78 e os 120 m. Por oposição, reconhecem os valores mais baixos do nível hidrostático na parte mais baixa do sistema – sector Sul – oscilando entre os 13 e os 39 m. No sector Norte, a cota da boca dos furos varia entre os 75 e 104 m, e no sector Sul, entre os 60 e 80 m (refira-se que no sector Sul a boca dos furos oscila entre os 30 e 68 m, sendo que alguns destes furos atravessam, antes de J_{ab}^2 , algumas unidades aquíferas porosas).

De forma a melhor compreender a hidrodinâmica na área em estudo, foram realizados três perfis hidrogeológicos (AB, CD e EF). Na Figura 6.1 apresenta-se a localização desses perfis.

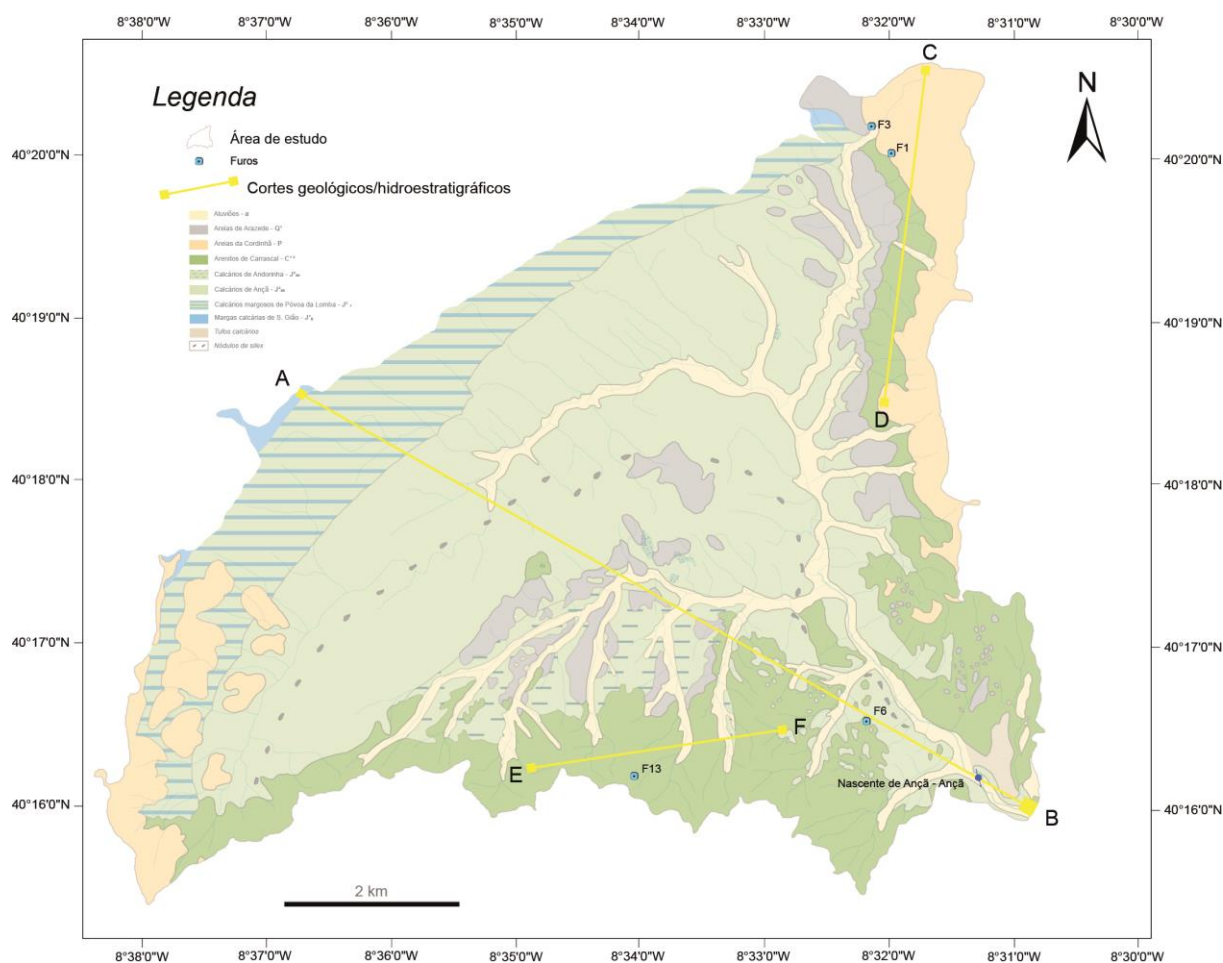


Figura 6.1 – Localização dos três perfis hidrogeológicos (AB, CD e EF) construídos para a área de estudo

Os perfis não incluem as unidades aquíferas de menor dimensão inseridas nos depósitos aluvionares associados às linhas de água principais. Os perfis CD e EF procuram modelar as unidades aquíferas porosas mais importantes na área de estudo, que estão implantadas nas formações do **P** e do **C¹⁻²**). O perfil AB é o mais extenso e traduz de forma mais completa o modelo conceptual sectorial proposto para o sistema aquífero cársico.

Unidades aquíferas do **P** e do **C¹⁻²**

O perfil CD, localizado próximo da povoação da Cordinhã, enquadra as unidades aquíferas que ocorrem nos primeiros 45 m de profundidade ocupados pelas formações detríticas do **P** e do **C¹⁻²** (Figura 6.2; ver ANEXO III).

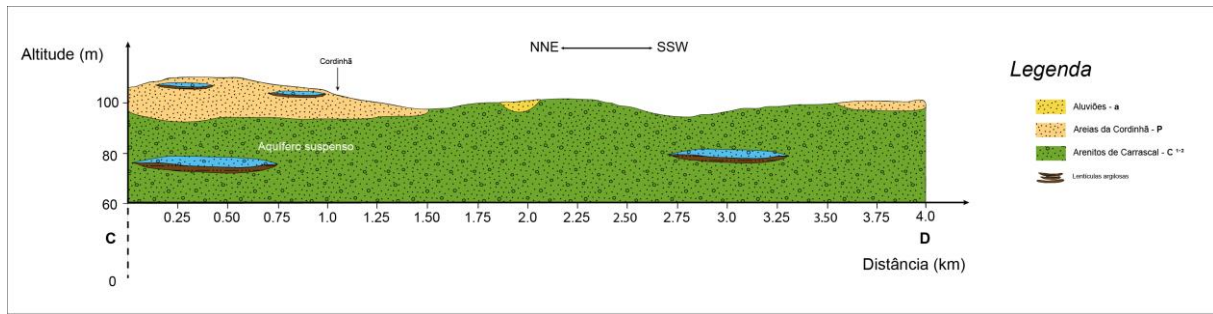


Figura 6.2 – Perfil hidrogeológico CD interpretativo das unidades aquíferas presentes em **P** e **C¹⁻²**.
(localização na Figura 6.1)

Os furos F1 e F3, localizados nas imediações deste perfil, são profundos, atingindo, respectivamente, 80 e 120 m. Atravessam muitos níveis apelidados de “areias”, “argilas”, “margas” e “calcários”. Contudo, não chegam a atravessar o sistema aquífero cársico **J²_{ab}**.

Os elementos constantes nos relatórios destes furos revelaram-se insuficientes para definir a relação espacial e geometria de **J²₁**, **J¹_g** – unidades mais margosas. A análise dos *logs* dos furos F1 e F3 permitiu definir, no entanto, uma espessura aproximada de 35 metros para a unidade **C¹⁻²** – hospedeira das unidades aquíferas porosas – e uma espessura de cerca de 8 metros (que vai ao encontro dos valores previstos por Barbosa *et al.*, 1998) para a unidade **P** – também hospedeira das unidades aquíferas porosas.

Em **C¹⁻²**, desconhecendo a morfologia rigorosa e a extensão dos níveis impermeáveis – muro ou base dos aquíferos – assumiu-se que as unidades aquíferas seriam de pequenas dimensões, lenticulares e do tipo não-confinado e semi-confinado, por vezes situadas acima do nível freático regional (aquéferos suspensos). A reduzida espessura destas unidades está expressa no dimensionamento dos furos F1 e F3, os quais possuem maior extensão de tubo-ralo nas unidades carbonatadas-margosas do que nas unidades detríticas.

Relativamente à hidrogeologia das formações de **P**, assumiu-se que as unidades aquíferas ali presentes serão maioritariamente do tipo suspenso com regime não-confinado. Esta conclusão baseia-se na existência de várias nascentes nesta unidade, nomeadamente a sul, orientadas, segundo um alinhamento NNE-SSW, mas também na proliferação de poços neste sector NE da área de estudo ocupado pelas formações de **P** (ver **Capítulo V**, Figura 5.7).

O perfil EF, localizado próximo da povoação de Andorinha, procura ilustrar o comportamento das unidades aquíferas implantadas em **C¹⁻²**. Foi produzido essencialmente

com base nos dados contidos no relatório do furo F13, localizado nas proximidades do perfil (Figura 6.3; ver ANEXO III).

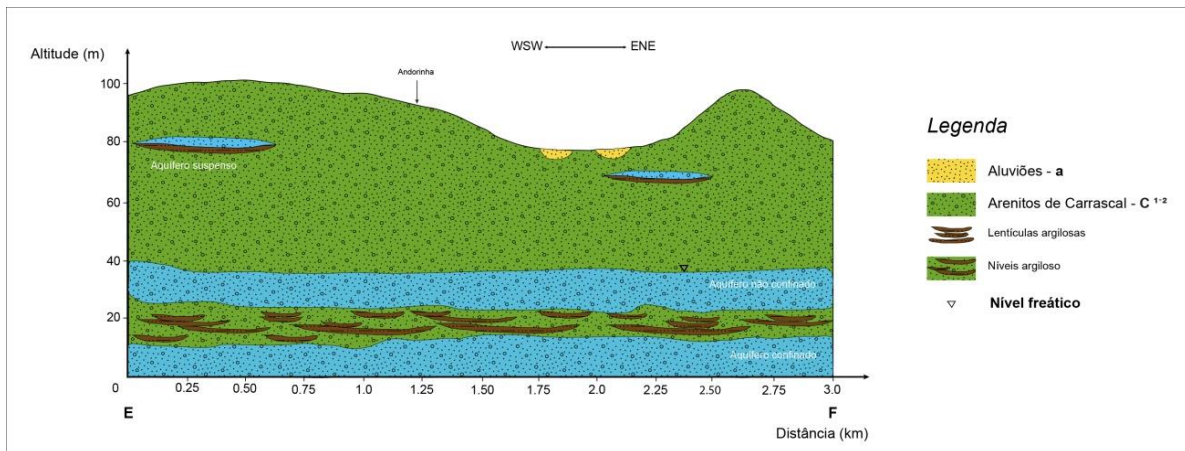


Figura 6.3 – Perfil hidrogeológico EF interpretativo das unidades aquíferas presentes em C^{1-2} .
(localização na Figura 6.1)

O furo F13, com 102 m de profundidade, apresenta três níveis produtivos (aos 20 m; entre os 66 e 78 m; e entre 90 e 102 m) e apenas atravessa, segundo o relatório da sondagem, “areia”, “argila” e finalmente “areia”. Presume-se, assim, que a espessura de C^{1-2} neste sector seja elevada. Aliás, conhecem-se espessuras para esta unidade e nesta região de 120 ± 30 m (Almeida *et al.*, 2000b). Contudo, há alguma dúvida quanto à morfologia e extensão dos níveis aquíferos mais profundos, teoricamente confinados e semi-confinados.

As unidades aquíferas de C^{1-2} são constituídas por materiais detríticos de granulometria e textura variáveis e apresentam forma lenticular. Estas unidades estão frequentemente separadas por lenticulas de natureza argilosa, conferindo ao conjunto um carácter de aquífero em multicamada.

Devido à variabilidade litológica (textura, granulometria), as características hidráulicas do meio aquífero variam significativamente de local para local (Almeida *et al.*, 2000b). Na área de estudo são conhecidos níveis argilosos que delimitam aquíferos do tipo suspenso – a Lagoa de Outil, assim como alguns pequenos lagos associados a antigos barreiros/areeiros, disseminados pelos pinhais, localizados a S da área de estudo, no concelho de Montemor – que correspondem aos “afloramentos” do nível freático local ou regional, ou ao nível piezométrico dos aquíferos suspensos (Figura 6.4).

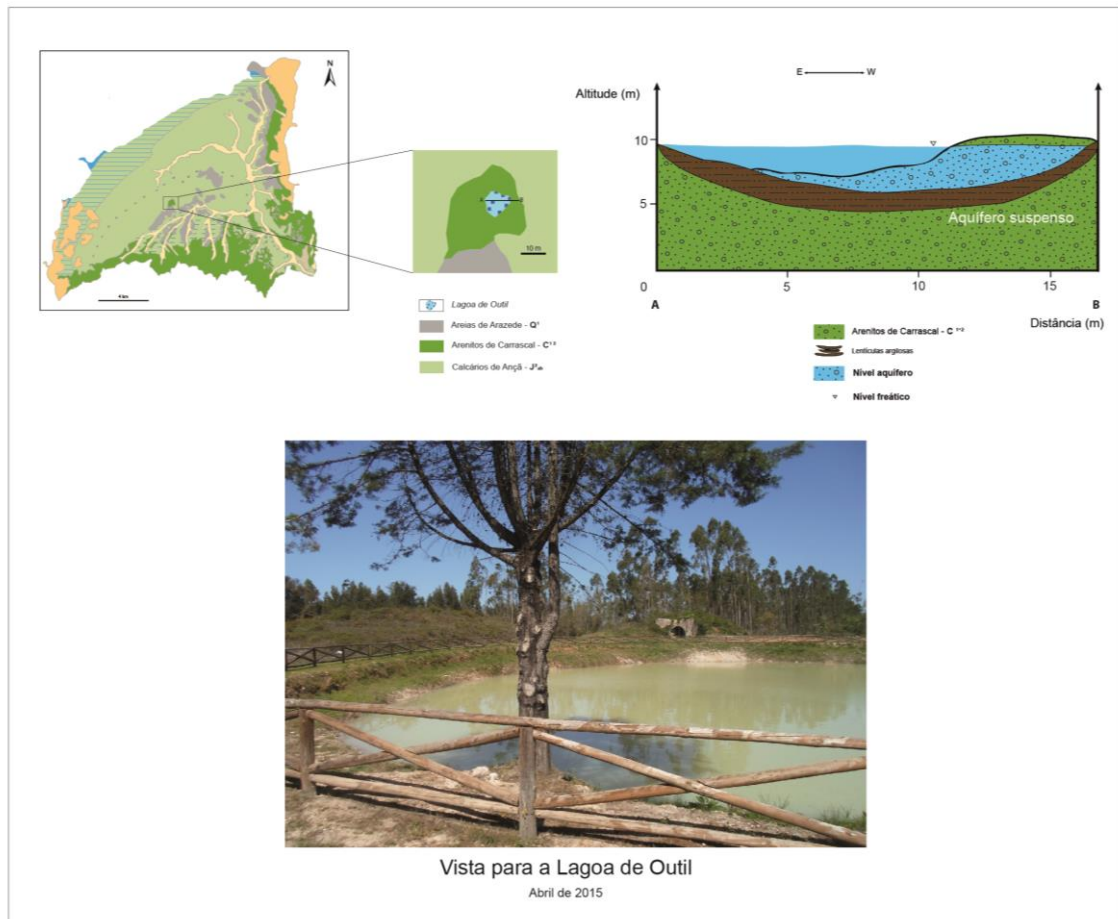


Figura 6.4 – Lagoa de Outil, exemplo do “afioramento” do nível piezométrico de um aquífero suspenso implantado na unidade C^{1-2} .

Barbosa *et al.* (1998) conferem a esta unidade cretácica uma espessura entre os 50-150 metros, sendo que a unidade é mais expressiva e espessa a sul, isto é, fora da área de estudo. Assim, a espessura de C^{1-2} neste sector rondará cerca de 110 m, e, segundo Dimuccio & Cunha (1999), nos níveis basais ocorrerão estratos de carácter argiloso (fácies bauxíticas) e portanto mais impermeáveis. A ocorrência destes estratos impermeáveis é responsável pela definição de dois níveis aquíferos: o nível superior, situado próximo dos 20 m, que poderá ser do tipo suspenso, e o inferior, semi-confinado a confinado.

A cartografia geológica 1:50.000 expressa que, imediatamente a sul deste sector, ou seja, fora da área de estudo, a estratificação de C^{1-2} pende para S-SE. Assim, e pese embora a assunção pareça grosseira, se, neste alinhamento WSW-ENE, C^{1-2} possuir entre 110-120 m de espessura e for argiloso na base, poderemos encontrar, a essa profundidade, o contacto discordante entre C^{1-2} e J_{ab}^2 (calcários de Ançã ou mesmo os calcários de Andorinha), atingindo o paleocarso, que se sabe ser penetrativo até cerca de uma dezena de metros. Colmatado ou não por alguns sedimentos, este paleocarso poderá funcionar

como um excelente aquífero cársico, possuindo uma reserva hídrica por enquanto inexplorada.

Unidades aquíferas de J^2_{ab}

O perfil hidrogeológico AB, orientado segundo NE-SW, e que termina em Ançã, procura ilustrar o edifício do sistema aquífero cársico implantado nas formações de J^2_{ab} – constitui o maior e o principal reservatório de água subterrânea local (Figura 6.5; ver ANEXO III).

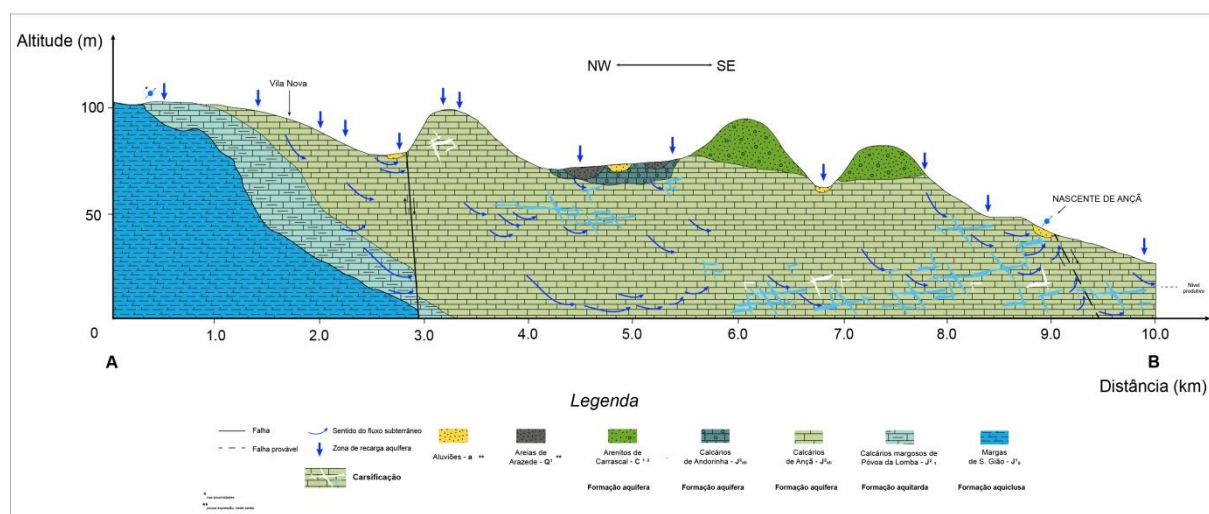


Figura 6.5 – Perfil hidrogeológico EF interpretativo do sistema aquífero presente em J^2_{ab} . (localização na Figura 6.1)

As unidades jurássicas J^1_g e J^2_1 apenas afloram no trecho NE do domínio em análise, sendo que os seus troços mais profundos, tendo em conta os elementos estruturais de campo e aqueles expressos na cartografia geológica 1:50.000, estarão cortados por falhas normais (ver **Capítulo V**, Figura 5.10), estão associadas à estrutura em anticlinal/*horst* da região. Assim, e tendo em vista o pendor da estratificação e a intervenção das falhas referidas anteriormente, é admissível que, no sector Central da área de estudo, o contacto entre J^2_{ab} – aquífero – e J^2_1 – base do sistema aquífero – esteja a 200 ± 50 m de profundidade (ver secção 6.1.3). A unidade J^2_{ab} terá a estrutura geral apresentada na Figura 6.1, sendo que os Calcários de Andorinha apresentarão, também após interpretação cartográfica, uma espessura mais reduzida.

O perfil AB inclui ainda dois afloramentos de C^{1-2} que corresponderão a relevos residuais, à semelhança do que é referido por Dimuccio & Cunha (1999), (ver **Capítulo III**, Figura 3.16).

Na zona SW – local de implantação da nascente de Ançã – o nível hidrostático regional poderá estar a uma profundidade reduzida (de acordo com o marcado no perfil-modelo AB). Esta constatação está de acordo com as determinações de Almeida *et al.* (2000a) e com o valor médio registado no piezómetro de Ançã, durante o ano de 2014 – 48,41 m (dado fornecido, cortesia da APA, ARH-Centro) – e com os valores indicados para a profundidade dos níveis produtivos nos furos F6, F8 e F9 – os mais próximos da nascente de Ançã. O furo F6, com 80 m de profundidade, tem tubo-ralo entre os 50 e 74 m, numa zona que se presume extremamente abundante em água e por onde pululam cortejos de condutas e galerias cársicas, responsáveis pelo abastecimento da nascente de Ançã.

O fluxo subterrâneo geral, como ficou dito no **Capítulo V**, evolui para SW, sendo visível que a unidade J^2_1 , de natureza margosa, muro da unidade aquífera J^2_{ab} , poderá abastecer esta última por drenância (Figura 6.6).

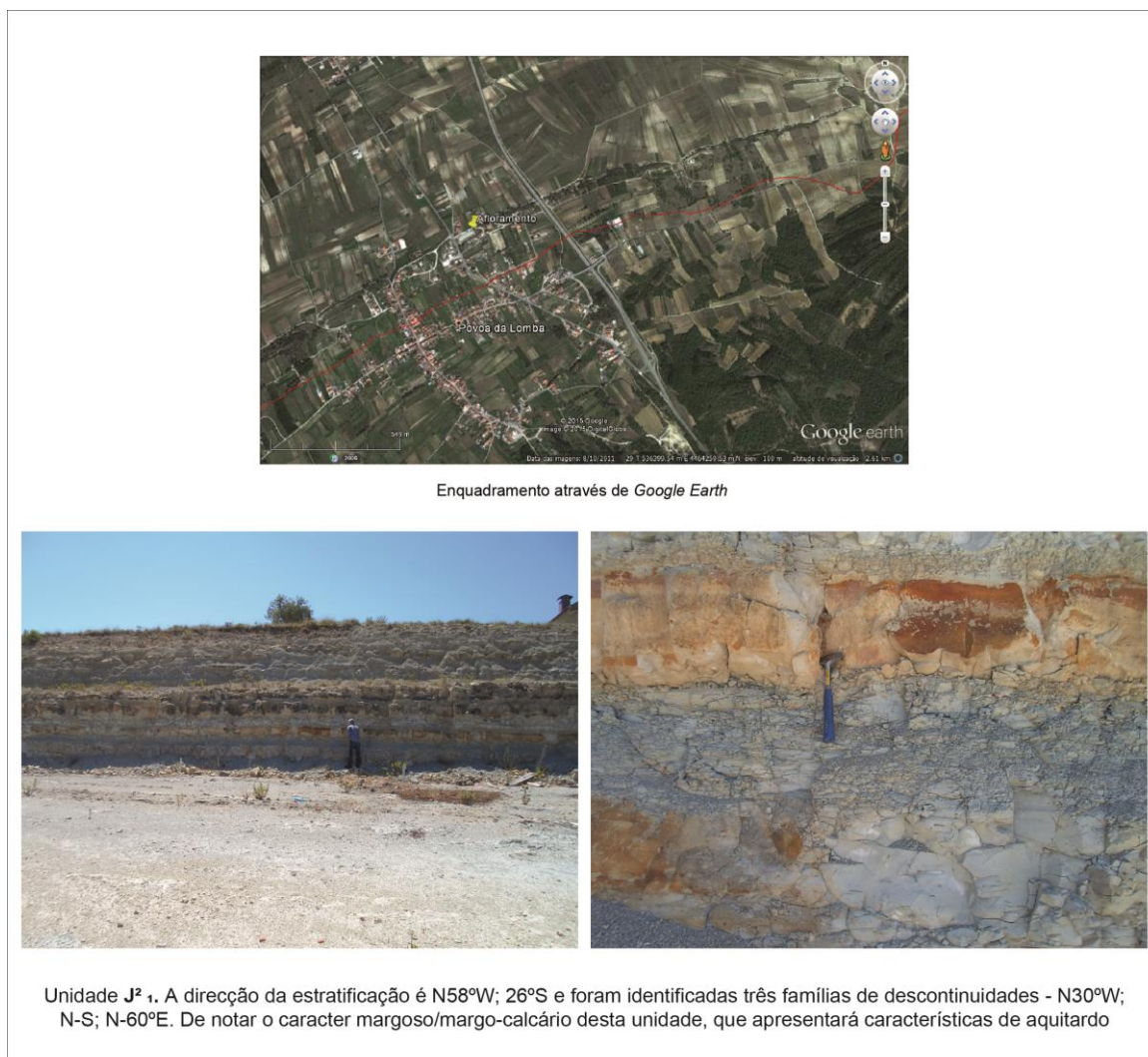


Figura 6.6 – Afloramento de J^2_1 , muro da unidade aquífera J^2_{ab} , nas imediações da Póvoa da Lomba (fora da área de estudo)

6.1.2 Modelação 3D do sistema aquífero cársico J^2_{ab}

Foram realizados três modelos 3D a partir dos dados recolhidos nos relatórios e *logs* dos furos seleccionados (F4 a F30), com particular relevância na análise e organização espacial dos níveis produtores (níveis aquíferos) de cada furo, cuja profundidade foi directamente associada à colocação dos segmentos de tubo-ralo.

Os modelos construídos reportam-se exclusivamente às unidades aquíferas inseridas na unidade litológica dos calcários jurássicos J^2_{ab} atendendo à maior relevância deste sistema em termos de recurso hídrico natural.

Modelo 1

Para o primeiro modelo, tendo por base o posicionamento dos segmentos de tubo-ralo, e após algumas, mas necessárias, extrapolações, foram definidos 3 níveis produtivos (ver ANEXO IV), apelidados de Nível 1, Nível 2 e Nível 3. Na Figura 6.7 apresenta-se a configuração morfo-estrutural dos níveis produtivos.

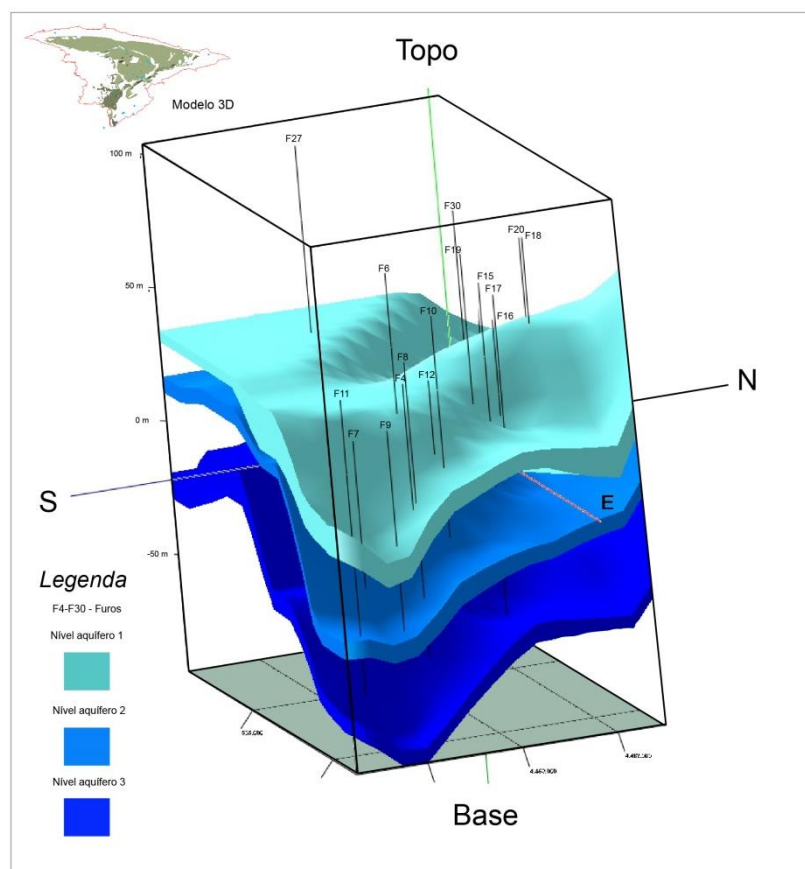


Figura 6.7 – Primeiro modelo conceptual do sistema aquífero cársico implantado na unidade J^2_{ab}

É claramente visível, como aliás fora previsto e afirmado relativamente ao escoamento subterrâneo, o mergulho dos níveis aquíferos para SE (não foi possível representar a topografia sobre o modelo, mas sabe-se que este acompanha, genericamente falando, a “atitude” dos níveis aquíferos). Os furos nos sectores Central e Sul atingem grandes profundidades de captação. É igualmente visível no primeiro modelo o forte controlo que a disposição geral das camadas e a tectónica exercem sobre o edifício aquífero.

Modelo 2

Considerando que os Níveis 2 e 3 se encontram a profundidades próximas – na faixa dos 75-115 m – construiu-se um segundo modelo, onde os Níveis 1 e 2 foram agrupados num só nível – designado de Nível II. Calcularam-se os valores para a base e o topo do Nível II, com base nos valores médios da base e do topo dos Níveis iniciais (ver ANEXO V). O Nível 1 manteve-se igual e foi designado neste modelo como Nível I, já que, em virtude da compreensão da hidrodinâmica regional, seria sempre mais interessante estudar os níveis aquíferos mais profundos que são, presumivelmente, os mais produtores (ver ANEXO VI).

Dentro da área de estudo, pelo menos 10 dos 16 furos, captam água a profundidades superiores a 78 m (4 no sector Norte, 3 no sector Central e 3 no sector Sul) e pelo menos 3 desses 10 furos captam água a profundidades iguais ou superiores a 120 m (1 no sector Central e 2 no sector Sul – os furos F4 e F11). Posto isto, poderemos definir que o nível aquífero mais profundo da parte “alta do sistema” (Almeida *et al.*, 2000a) terá um desenvolvimento/mergulho também para sul, encontrando-se aí, provavelmente, até a maior profundidade.

O segundo modelo (Figura 6.8) apresenta, assim, dois níveis aquíferos, em que o segundo (mais profundo) é claramente mais espesso e produtivo (isto presumindo um bom desenvolvido do sistemas de galerias e condutas cársicas, nesta zona). De salientar, à semelhança do primeiro modelo, o carácter potencialmente mais produtivo que os sectores Central e Sul assumem na totalidade do sistema aquífero.

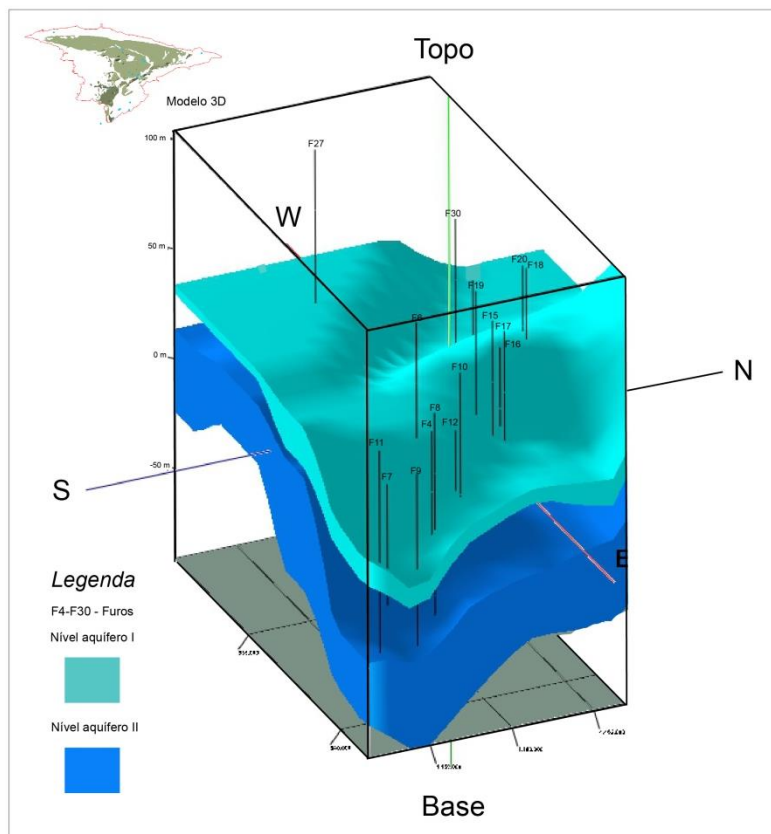


Figura 6.8 – Segundo modelo conceptual para o sistema aquífero cársico implantado na unidade J^2_{ab}

Do conjunto de furos do sector Central (F15, F16, F17 e F19), o F16, apesar de irmanado aos restantes, apresenta uma característica distinta: capta água de um nível localizado a 152 m de profundidade. Tal evidência não é de estranhar na medida em que este sector Central é o sector mais retalhado por falhas estruturais e onde abundam formas cársicas (condutas, algares, galerias, grutas, nascentes – ex. Olho da Grota) que apontam para a circulação de água subterrânea em níveis mais profundos. Esta constatação permite presumir que no alinhamento dos furos F15, F19 e F16 também ocorra importante circulação e armazenamento hídricos àquela profundidade.

Almeida *et al.* (2000a) definiram para este sistema aquífero um nível aquífero mais profundo, situado na sua parte alta, a 120 m. Os dados expostos no presente estudo apontam para um valor dessa profundidade máxima de captação de aproximadamente 150 m, suportando também a existência de um terceiro e novo nível aquífero, mais profundo e com desenvolvimento no sector Central. Este nível terá prolongamento para domínios mais profundos, situados no sector Sul. No entanto, sabe-se que neste prolongamento, conquanto a espessura de (J^2_{ab}) se presuma grande, os processos de circulação hídrica sejam mais desconhecidos.

Em contrapartida, no sector Norte, a espessura da unidade dos calcários jurássicos (J^2_{ab}) será menor e o desenho estrutural será diferente, dado a proximidade ao eixo do anticlinal.

Modelo 3

Atendendo à acentuada heterogeneidade e imprevisibilidade espacial dos meios aquíferos cársicos, bem diferentes dos meios aquíferos porosos, considerou-se importante construir um terceiro modelo com inclusão de um novo nível produtivo (aquífero), localizado em domínios mais profundos. Esta nova configuração apoiou-se na extrapolação e dedução de elementos (profundidades) a partir da análise dos níveis produtores identificados nos *logs* dos furos implantados em cada sector, na interpretação geológica/cartográfica, e na interpretação tectónica-estrutural (ver ANEXO VII). Este terceiro modelo procura representar, embora com as reservas da modelação em meios cársicos, uma organização espacial do sistema aquífero mais próxima da realidade. Assim, foram definidos quatro níveis produtores: Nível i, Nível ii, Nível iii e Nível iv (Figura 6.9).

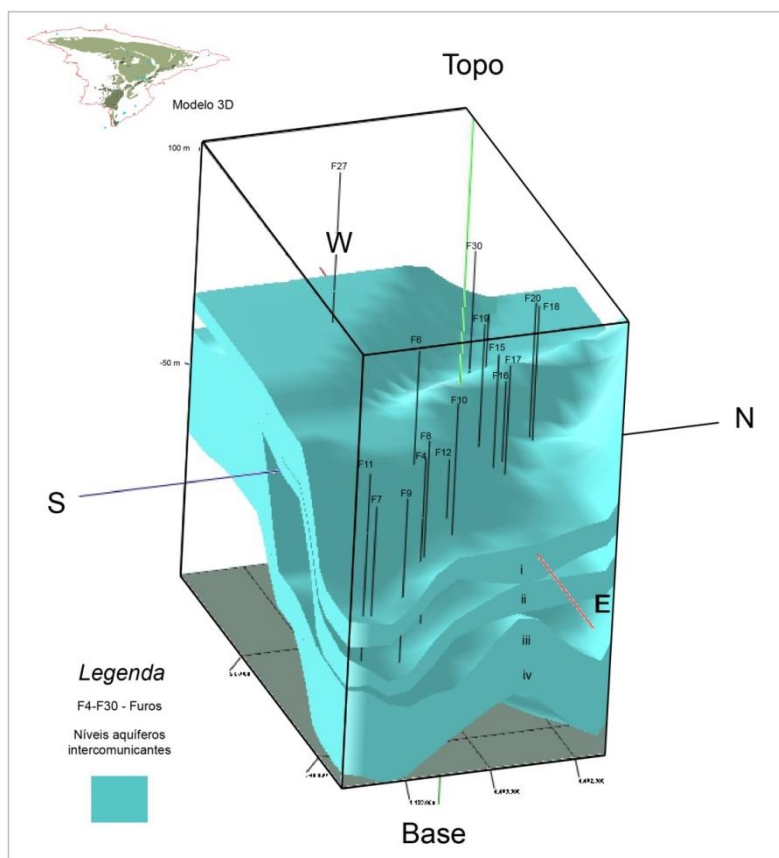


Figura 6.9 – Terceiro modelo conceptual para o sistema aquífero cársico implantado na unidade J^2_{ab} .
Representação dos Níveis i, ii, iii e iv

É notória, como já foi constatado nos modelos anteriores, a maior dimensão/espessura das zonas produtivas nos sectores Central e Sul. A configuração espacial obtida aponta também para a importância da circulação hídrica no sector Central e na recarga do sector Sul.

Admitindo que a recarga e a circulação da água no maciço foi mais ou menos constante nos últimos milhões de anos, este nível de carsificação mais profundo e consequentemente de elevado armazenamento hídrico, será contemporâneo de um período de maior rebaixamento do nível freático regional – que se sabe ter ocorrido nos últimos milénios – e coincidente com o rebaixamento do nível do mar. Embora o factor tempo possa estar a ser, nesta interpretação, algo menosprezado, tais rebaixamentos freáticos regionais poderão ter reactivado sistemas cársicos mais antigos, pós-jurássicos, também eles formados em períodos de rebaixamento freático regional. Não é por acaso que a base de todos os furos implantados na área de estudo, exceptuando os furos F30 e F6, se encontra a cotas inferiores ao nível do mar actual, sendo que os furos F15, F4 e F11, dos sectores Central e Sul, são aqueles cujas bases estão a maior profundidade (ver ANEXO II).

A modelação 3D, aplicada a meios hidrogeológicos de natureza porosa, produz resultados praticamente infalíveis. No entanto, para meios cársicos, caracterizados por um desenho interno com acentuada heterogeneidade e baseados num inextricável sistema de fissuras, condutas e galerias, os modelos obtidos podem, por vezes, afastar-se consideravelmente da realidade. Assim, a configuração apresentada no terceiro modelo poderá ser ligeiramente diferente da configuração real.

Infelizmente, dispôs-se apenas de dados de 16 furos para captação de água. Demais a mais, a má distribuição geográfica destes 16 furos na área em análise trouxe algumas dificuldades de correlação entre os níveis produtivos. Não obstante, a modelação 3D contribui para compreender o arranjo espacial deste sistema aquífero cársico implantado em J^2_{ab} e na sua relação com as outras unidades aquíferas suprajacentes e com os sistemas aquíferos contíguos.

6.1.3 Questão das pedreiras de Portunhos

Sabendo-se que a exploração e o consequente desmonte em pedreira pode condicionar fortemente a recarga e a hidrodinâmica aquíferas em determinados casos, considerou-se relevante o acrescento deste sub-capítulo.

A partir da leitura do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), realizado em 2002, para a pedreira da Cova da Moura – a maior pedreira do concelho de Cantanhede e cuja superfície de exploração actual da pedreira estará aos 75-80 m – foi possível avançar com o seguinte dado:

– “O abastecimento de água é assegurado pela rede de abastecimento municipal. Existe ainda um furo de captação, com 180 m de profundidade, utilizado apenas em acções de despoejamento e rega de pistas. Por sua vez, a drenagem das águas retidas no fundo da pedreira é conseguida através do recurso a bombas, e posteriormente através de valas, que as encaminham para a Ribeira do Olho da Giota” (Mota & Companhia, 2002).

Assim, presume-se que ocorra circulação e armazenamento de águas de origem subterrânea no fundo de exploração da pedreira, não só pela implantação claramente abaixo do nível freático local, mas também pela presença de material argiloso, impermeável. Assumindo uma espessura aproximada de 200 m para a unidade J_{ab}^2 neste sector, podemos presumir que poder-se-á ter atingido ali o contacto de J_{ab}^2 com J_1^2 , ou seja, a base do sistema aquífero cársico. Outras pedreiras existentes na zona, muitas já desactivadas, também possuem profundidades de exploração consideráveis (Figura 6.10) e promovem, certamente, importantes modificações na hidrodinâmica subterrânea local e regional.

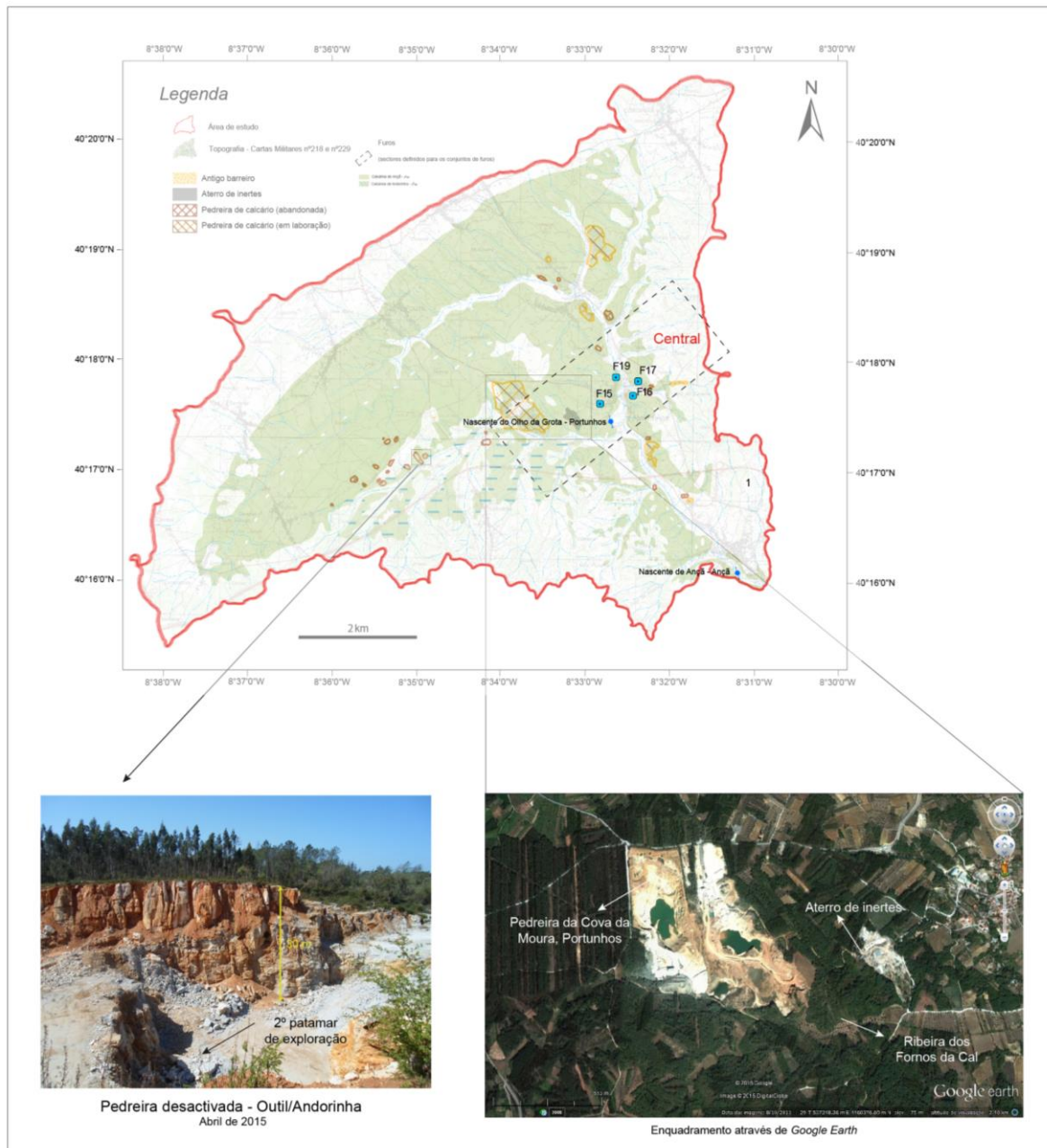


Figura 6.10 – Localização das pedreiras na zona de estudo e aspecto geral da pedreira da Cova da Moura, Portunhos (a fotografia de satélite data de 2011)

A existência de um furo com 180 m neste sector (ainda que não se saiba a que cotas foram colocados os segmentos de tubo-ralo) vem reforçar a possibilidade acima referida, da existência do um terceiro nível aquífero, mais profundo, e produtivo, neste sistema aquífero cársico.

6.2 Conclusões e recomendações

6.2.1 Conclusões

Com esta actividade de investigação foi possível descrever e aumentar o conhecimento do conjunto de unidades aquíferas que constituem o sistema Aquífero O4, bem de outras unidades aquíferas que evoluem na área estudada. Pretendeu-se contribuir igualmente para a compreensão das relações entre espaciais e hidrodinâmicas entre as unidades geológicas e aquíferas que se inserem dentro do domínio de estudo.

O aproveitamento de uma múltipla de resultados extraídos de relatórios e *logs* de furos para captação de água implantados na região, foi, sem dúvida, uma ferramenta imprescindível para a compreensão da geologia e hidrogeologia subsuperficial e profunda.

Através da interpretação hidroestratigráfica fornecida pela análise dos *logs* dos furos F4 a F30, foi possível fazer modelação hidrogeológica conceptual e definir diferentes sectores produtivos – unidades aquíferas – no domínio geológico.

O sector Central, hospedeiro de um importante ponto de descarga subterrânea – o Olho da Grotta – e onde foi traçado um terceiro nível aquífero no maciço carbonatado, situado a cerca de 150 m de profundidade e com prolongamento para o sector Sul, revelou-se como o mais interessante do ponto de vista geomorfológico e hidrogeológico.

Nos domínios localizados a sul, os níveis aquíferos estarão a profundidades idênticas ou superiores às do sector Central. Todavia, a imprevisibilidade característica dos meios cársicos, associada ao facto deste domínio (sector Sul) estabelecer a fronteira com o sistema aquífero adjacente – Sistema Aquífero de Tentúgal (O5) – não é recomendável, com os elementos actuais, apresentar conclusões mais seguras sobre: (1) a hidrodinâmica profunda neste sector (2) o possível prolongamento do Sistema Aquífero de Ançã-Cantanhede para domínios mais profundos e subjacentes ao Sistema Aquífero de Tentúgal (O5). Apesar de a relação hidráulica com o Sistema Aquífero de Tentúgal ser pouco conhecida, olhando para a tectónica vigente na zona e para a orientação/morfologia do edifício cársico subterrâneo, bem estruturado e produtivo, será impossível que estes dois sistemas sejam estanques.

Importa ainda referir a importância, em determinadas zonas (a zona do corte CD é um exemplo) da hidrodinâmica entre as unidades aquíferas porosas implantadas nas

formações de **a, P e C¹⁻²** e as unidades aquíferas cársicas (**J^{2_{ab}}**), através do contacto geológico entre as formações detríticas e a superfície paleocársica. O estudo hidrogeológico mais detalhado desta interface, sobretudo na zona dos calcários de Andorinha, deverá prosseguir tendo em conta os critérios morfo-estruturais apresentados nos **Capítulos III e V**.

6.2.2 Recomendações e projectos futuros

Com base no conjunto de dados e conhecimentos hidrogeológicos obtidos, as recomendações são dirigidas sobretudo no sentido do desenvolvimento de estudos posteriores integrativos de mais dados de natureza hidrológica, geológica e hidrogeológica. A nova abordagem tectónico-geomorfológica deu novas luzes sobre a hidrogeologia local e regional. Os sectores Central e Sul mostram-se bastante promissores no que toca à realização de novos estudos hidrogeológicos. A existência de uma geomorfologia e de uma tectónica fortemente condicionantes do comportamento hidrogeológico, particularmente do funcionamento do sistema aquífero cársico, constituem uma importante constatação deste estudo.

Neste intuito, recomenda-se:

a) Conjuguar mais dados relativos a furos para captação de água, sobretudo nos sectores Central e Sul. A interpretação dos *logs* provou ser extremamente valiosa para um melhor conhecimento da geologia regional e, com o anexo de mais dados, poderá assumir um papel ainda mais definitivo na modelação hidrogeológica regional.

b) Desenvolver campanhas de prospecção e reconhecimento geológico, geofísico e hidrogeológico. A abertura de furos profundos (até 200 m no sector Central e até 150 m na zona de Andorinha) promoverá um conhecimento mais concreto do funcionamento dos níveis e unidades aquíferas e auxiliará na gestão das e exploração das massas de água subterrânea, a nível local e regional. A instalação de mais piezómetros (dado que apenas existe um, em Ançã), em zonas estratégicas do sistema (por exemplo, na zona mais alta do planalto carbonatado, junto a Outil/Vila Nova; junto a Andorinha; junto a Portunhos), poderá ajudar numa monitorização hídrica mais eficaz e, conseqüentemente, mais conjunta com a que é feita nos sistemas aquíferos adjacentes (a sul e a norte).

c) Implementação de estudos hidrogeológicos localizados, como sejam aqueles a promover nos domínios enquadrantes de importantes centros de indústria extractiva da região (pedreiras em laboração e pedreiras desactivadas/abandonadas), nomeadamente:

(1) a integração de dados recolhidos no "coração" das unidades aquíferas; (2) futuros estudos na pedreira da Cova da Moura – sector Central – e em pedreiras do sector Sul (Ançã) e do sector Norte (Pena).

d) Observação directa do sistema aquífero nas zonas das principais exurgências e grutas – já feita por equipas de espeleologia, académicas e não académicas – e a respectiva reportagem escrupulosamente detalhada permitirão um melhor conhecimento hidrogeológico.

e) O aporte e a integração de elementos hidroquímicos e hidrogeoquímicos referentes às massas de água locais – subterrâneas, mas também superficiais – será interessante e profícua.

f) Saber qual o comportamento geotécnico dos maciços rochosos da área de estudo. Uma classificação do maciço rochoso com base em critérios geotécnicos (comportamento do material lítico; parâmetros de descontinuidades) iria complementar o estudo hidrogeológico do meio subterrâneo. O principal conjunto de unidades aquíferas estudadas – integrantes do Sistema Aquífero de Ançã-Cantanhede – é de natureza cársica e, por isso, a circulação hídrica subterrânea apresenta um carácter com elevado grau de imprevisibilidade. Esta unidade apresenta, no entanto, um sistema de fracturação com expressão superficial, relativamente homogéneo e padronizado, que se julga desempenhar, apesar de tudo, um papel importantíssimo na regulação da carsificação e, conseqüentemente, da hidrodinâmica subterrânea, com alguma semelhança do que ocorre nos maciços fracturados. Por conseguinte, seria interessante a aquisição regular e detalhada de dados (pendor, abertura, continuidade, frequência, preenchimento, rugosidade, conectividade, etc.) sobre as descontinuidades estruturais que nela abundam (planos de estratificação e fracturas – falhas, juntas, diaclases, etc.) para um estudo mais abrangente e menos imprevisível da hidrogeologia local.

g) A promoção de estudos (petrogenéticos) sobre a diagénese das calcites/dolomites existentes nalguns sectores do modelado cársico (pequenas cavidades em pedreiras; grutas do Sabadal).

h) A existência de uma legislação mais apertada no que toca à poluição/descarga de inertes em pedreiras desactivadas/abandonadas, sobretudo nos sectores Central e Norte – a maior zona de recarga do sistema aquífero – será, indubitavelmente, uma medida a propor.

Com burilagens adicionais, admite-se a possibilidade de um ou mais artigos científicos, de âmbito nacional e/ou internacional, decorrentes desta dissertação.

6.3 Síntese autocrítica e reflexão

Os princípios de pesquisa, exploração e gestão de recursos hídricos subterrâneos são, frequentemente, de difícil aplicação, havendo, comparando com outros georrecursos e ramos da Geologia, escassas aproximações e abordagens. Neste âmbito, as acções de estudo hidrogeológico e de monitorização e gestão de massas de água subterrâneas deverão ser contínuas e amparadas por medidas legislativas e pedagógicas, de forma a apelar a um aumento do conhecimento científico/tecnológico dos assuntos relativos à água subterrânea.

Todas estas actividades de investigação, que apelam à pluridisciplinaridade, fazem sentido, sendo um desafio aliciante no plano académico. A importância que a água subterrânea tem para o Homem é cada vez maior. Na presente investigação, verificou-se que eram poucos os estudos hidrogeológicos sobre o Sistema Aquífero de Ançã-Cantanhede e outras unidades aquíferas locais. Um conhecimento aprofundado dos mecanismos de recarga, armazenamento e circulação hídrica neste meio geológico é de elevada importância científica e económica, pois só assim se consegue aprimorar a gestão dos recursos hídricos como um todo, fomentar uma exploração comercial sustentável e uma ocupação humana que não interfira negativamente com o sistema de circulação hídrica. Ademais, dado que os aquíferos cársicos são extremamente vulneráveis à contaminação, uma boa compreensão do seu funcionamento interno contribui para um melhor controlo da qualidade da água.

Esta dissertação pretende dar um contributo para o conhecimento mais detalhado da hidrogeologia dos terrenos inseridos na bacia hidrográfica da Ribeira de Ançã e, mais especificamente do Sistema Aquífero de Ançã-Cantanhede.

7. Capítulo VII – Referências bibliográficas

Agência Portuguesa do Ambiente [APA], (2015). Acedido dia 23 de Maio em <http://www.apambiente.pt/>

ALMEIDA, C., MENDONÇA, J. J. L., JESUS, M. R., GOMES, A. J., (2000) – *Sistemas aquíferos de Portugal Continental - Sistema Aquífero de Ançã - Cantanhede (O4)*. Instituto da água pp. 198-2014. Acedido dia 20 de Março, em: <http://snirh.apambiente.pt>

ALMEIDA, C., MENDONÇA, J. J. L., JESUS, M. R., GOMES, A. J., (2000b) – *Sistemas aquíferos de Portugal Continental - Sistema Aquífero de Tentúgal (O3)*. Instituto da água p. 207. Acedido dia 20 de Março, em: <http://snirh.apambiente.pt>

ASSAAD F.A., LaMOREAUX P.E., HUGHES T.H., WANGFANG Z., JORDAN H., (2004) – *Field methods for geologists and hydrogeologists*. Springer-Verlag, p. 420.

AZEVEDO, J. M., (2008) – *Apontamentos sobre Unidades Aquíferas, Matriz de Classificação*. Departamento de Ciências da Terra [DCT] da Universidade de Coimbra.

AZEVEDO, J. M., (2014) – *Cadernos teórico-práticos de apoio à disciplina de Recursos Hídricos, dos Mestrados em Geociência e Eng^a de Minas*. Departamento de Ciências da Terra [DCT] da Universidade de Coimbra.

BARBOSA, B., SOARES, A. F., ROCHA, R. B., MANUPPELLA, G., HENRIQUES, M. H., (1998). *Folha 19-A da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1/50 000*. Serviços geológicos de Portugal, Lisboa.

BARBOSA, B., SOARES, A. F., ROCHA, R. B., MANUPPELLA, G., HENRIQUES, M. H., (1998) - *Notícia explicativa da Folha 19-A da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1/50 000*. Serviços geológicos de Portugal, Lisboa, pp. 12-33.

BATU, V., (1998) – *Aquifer hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis*. Wiley, New York, p. 36.

CABRAL, J., RIBEIRO, A., (1988) – *Carta Neotectónica de Portugal Continental*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Cantanhede – Plano Municipal do Ordenamento Florestal [CPMOF], (1994). Acedido dia 23 de Maio em: http://www.cm.cantanhede.pt/mcsite/Media/upload/2012/201212715930_PMOF.pdf

CARTA MILITAR DO EXÉRCITO (2001), *Folha nº 218 – Cantanhede*, escala 1:25000; *Folha nº 229 – Ançã*, escala 1:25000. Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.

- CASTANY G., (1982) – *Principes et Méthodes de l'Hydrogéologie*. Dunod Université, p. 238.
- CHRISTOFOLETTI, A., (1980) – *Geomorfologia*. Editora Edgard Blücher Lda, 2ª Edição, São Paulo, p. 188.
- Classificação de Maciços Rochosos [CMR], (n.d) – Geologia da Engenharia; Capítulo V. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto [FEUP], pp. 1-25. Acedido dia 18 de Junho de 2015 em: http://paginas.fe.up.pt/~geng/ge/apontamentos/Cap_5_GE.pdf
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro [CCDRC], (2015). Acedido dia 14 de Março de 2015 em: http://www.ccdrc.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=367&Itemid=249&lang=pt
- CORTEZ, J., (2012) – *Águas Minerais Naturais e de Nascente da Região Centro*. Coordenação José António Simões Cortez. Mare Liberum Editora, p. 526.
- CUNHA, L., (2003) – *Estudos de geomorfologia Cársica em Portugal - Um ponto de situação relativo aos maciços do sector setentrional da Orla Mesocenozóica Ocidental Portuguesa (Outil, Boa Viagem e Sicó)*. Actas do IV CNespeleo-Congress, Leiria, p. 2.
- Decreto-Lei n.º 382/99. D.R. n.º 222, Série I-A de 1999-09-22. Ministério do Ambiente.
- DERRUAU, M., (1988) – *Précis de Géomorphologie*. Sésième Édition, masson, Paris, p. 453.
- DIAS, J. A., (1985) – *Registos da Migração da Linha de Costa nos últimos 18 000 anos na Plataforma Continental Portuguesa Setentrional*. Actas da la Reunião do Quaternário Ibérico, 1, Lisboa, pp. 281-295.
- DIAS, J. A., (1987) – *Dinâmica Sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, p. 384.
- DIMUCCIO, L. A., CUNHA, L., (1999) – *O estudo dos fenómenos cársicos aplicado à reconstituição paleoambiental - O caso do Planalto de Cantanhede*. Actas - Encontro de Geomorfologia, Universidade de Coimbra, Projecto Praxis, pp. 1-10.
- DUARTE, M. V., (1948) – *Ciências Geográfico-Naturais*, p. 54
- FERREIRA, J. P. C. L., OLIVEIRA, M. M., MOINANTE, M. J., (1995) – *Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas de Portugal, Vol.II*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica, Grupo de Investigação de Águas Subterrâneas, Lisboa, p. 101.

- FETTER, C.W., (1994) – *Applied Hydrogeology*. Ed. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, Third Chapter.
- FORD, D. C., WILLIAM, P. W., (2007) – *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, p. 576.
- GHASEMIZADEH, R., HELLWEGER, F., BUTSCHER, C., PADILLA, I., Padilla, VESPER, D., FIELD, M., ALSHAWABKEH, A., (2013) – *Groundwater flow and transport modeling of karst aquifers, with particular reference to the North Coast Limestone aquifer system of Puerto Rico*, p. 14-16.
- GOLDSCHIEDER N., Drew, D., (2007) – *Methods in Karst Hydrogeology*. Taylor & Francis, London, p. 264.
- HEATH, R. C., (1983) - *Basic ground-water hydrology*. U.S. Geological Survey Water-Supply, Paper 2220, p. 86.
- HIPÓLITO, J. R., VAZ, A.C., (2011) – *Hidrologia e Recursos hídricos*. Coleção Ensino da Ciência e Tecnologia, Instituto Superior Técnico [IST Press], Lisboa, p. 796.
- HISCOCK, K., BENSE, V., (2014) – *Hydrogeology: Principles and Practice*. Wiley-Blackwell, p. 46.
- Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação [INETI], (2015) – *Rochas Ornamentais Portuguesas*. Acedido dia 1 de Maio de 2015 em: <http://rop.ineti.pt/rop/FormTipo.php>
- JACKSUS, L., (1977) - *Morphogenetics of Karst Regions – Variants of Karst Evolution*. Adam Hilger & Bristol, Budapest, p. 284.
- KELLER, J., (1952) - *Relatório sobre os furos de pesquisa de água, junto à Gruta de Portunhos, para abastecimento de Cantanhede*. Johan keller – Captação de Águas, Sondagens, pp. 1-17.
- Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia [LNEG], (2015) – GeoPortal do LNEG, Léxico de Termos Hidrogeológicos HIDROLEX. Acedido dia 24 de Maio em: geoportal.lneg.pt.
- LVOVICH M.I., (1979) – *World water resources and their future*. Washington D. C., American Geophysical Union, p. 415.
- MATTOSO, J., DAVEAU, S., BELO, D., (2010) – *Portugal, O Sabor da Terra, um retrato histórico e geográfico por regiões*. Círculo de Leitores, p. 310.
- MENDONÇA, J. J. L., DUARTE, R. S., QUINA, A. P., NEVES, J. R., ALMEIDA, C. (Editor), (2000) – *Glossário de termos Geológicos*. Instituto da Água, pp. 3-55.

- MORRIS, D. A., JOHNSON, A. I., (1967) – *Summary of hydrologic and physical properties of rock and soil materials as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1839-D, p. 42.
- Núcleo dos Amigos das Lapas, Grutas e Algarés [NALGA], (2007-2015) – *Olho da Grota, Portunhos*.
Acedido dia 20 de Maio em: <https://nalga.wordpress.com/olho-da-grota-portunhos/>
- OLIVEIRA, J. P., PEREIRA, E., RAMALHO, M., ANTUNES, M. T., MONTEIRO, J. H., (1992) – *Folha Norte da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1: 500 000*. Direcção Geral de Minas e de Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Plano Geral de Bacias Hidrográficas (Vouga, Mondego e Lis – Região Hidrográfica 4), [PGBH4], (2012) – *Relatórios Técnicos, parte 2*. Acedido dia 20 de Abril de 2015 em <http://www.apambiente.pt/>
- QUEVAUVILLER, P., (2008) – *Groundwater Science and Policy, an International Overview*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- RIBEIRO, A., SILVA, J. B., CABRAL, J., DIAS, R., FONSECA, P., KULLBERG, M. C., TERRINHA, P., KULLBERG, J. C., (1996) – *Tectonics of the Lusitanian Basin*. Final Report, Proj. MILUPOBAS,ICTE, GG, GeoFCUL, Lisboa, p. 126.
- ROCHA, R. B., SOARES, A. F., (1984) – *Algumas reflexões sobre a sedimentação jurássica na orla meso-cenozóica ocidental de Portugal*. Memórias e Notícias 97, 133-142. Coimbra.
- RODRIGUES, J. D., (1981) – *Hidrogeologia* – Genovas, Vol. 1, nº2, pp. 4-25.
- RODRIGUES, M. L., (1998) – *Evolução Geomorfológica Quaternária e Dinâmica Actual: Aplicações ao Ordenamento do Território – Exemplos no Maciço Calcário Estremenho*. Dissertação de Doutoramento, em Geografia Física, apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa p. 868.
- SANDERS L.L., (1998) – *A manual of field hydrogeology*. Prentice Hall, p. 381.
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos [SNIRH], (1995-2015) – *Atlas da água*.
Acedido dia 23 de Abril de 2015 em: <http://snirh.pt/index.php?idMain=4&idItem=2>
- SUMMERFIELD, M. A., (1991) – *Global Geomorphology – An introduction to the study of landforms*. Longman Singapore Publishers Ltd, Singapore, p. 537.
- TEIXEIRO, W., TOLEDO, M. C. M., FAIRCHILD, T. R., TAIOLI, F., (2000) – *Decifrando a Terra*. Oficina de textos. São Paulo, p. 558.
- THOMAS, C., (1985) – *Grottes et algares du Portugal*. Comunicar, Lisboa, p. 230.

United States Geologic Service [USGS], (2015) – *The USGS Water Science School*. Acedido dia 20 de Maio de 2015 em: <http://water.usgs.gov/edu/hydrology.html>

“Viavaageologiablogspot”, (2012). Acedido dia 20 de Maio em: <http://vivaageologia.blogspot.pt/2012/01/carta-geologica-de-portugal.html>

WALKER, W.R., SKOGERBOE, G. V., (1987) – *Surface irrigation: Theory and practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, p. 14.

WHITE, W. B., (1997) – *Conceptual models for carbonate aquifers*. Western Kentucky University, Bowling Green, KY, pp. 176-177.

ANEXOS

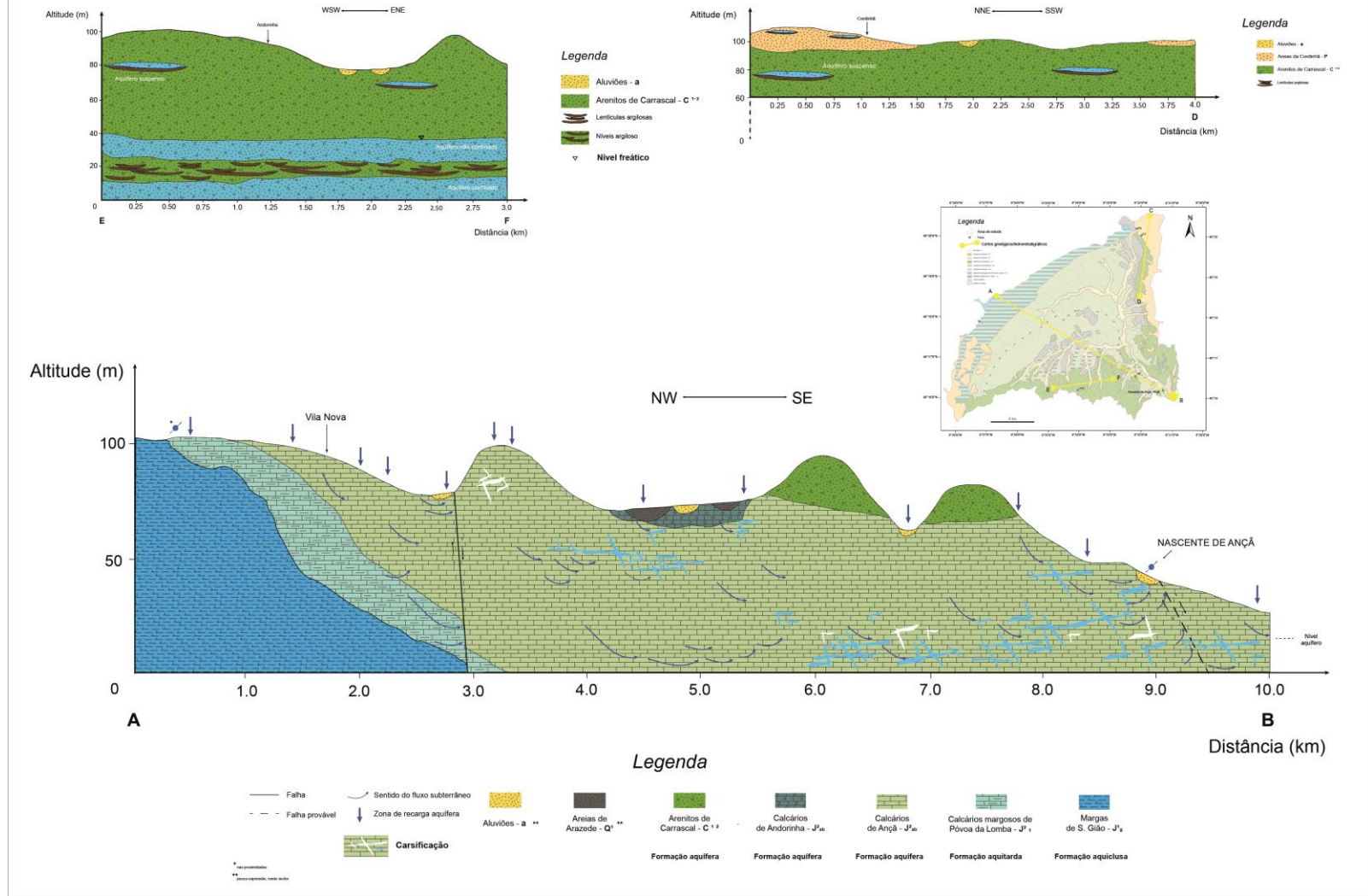
ANEXO I

Furos	Localização (povoação)	Profundidade (m)	Cota superfície (m)	Cota da base do furo (m)	Níveis produtivos (m) - <u>tubos-ralo</u>
1	Cordinhã - Cantanhede	84	105	21	42-72; 72-84
2	Cordinhã - Cantanhede	150	104	-46	99-105; 111-117; 126-135
3	Cordinhã - Cantanhede	120	102	-18	30-120
4	Ançã - Cantanhede	137	53	-84	41-53; 71-77; 89-95; 107-113; 119-125; 131-137
5	Ançã - Cantanhede	80	20	-60	47-59; 65-71
6	Ançã - Cantanhede	80	80	0	50-68; 70-74
7	Ançã - Cantanhede	80	28	-52	56-80
8	Ançã - Cantanhede	60	45	-15	30-60
9	Ançã - Cantanhede	100	30	-70	65-100
10	Ançã - Cantanhede	53	46	-7	26-38; 44-50
11	Ançã - Cantanhede	120	44	-76	42-54; 66-78; 90-96; 102-108; 114-120
12	Ançã - Cantanhede	100	68	-32	40-46; 52-58; 64-70; 76-82; 88-94
13	Andorinha-Cantanhede	102	103	1	18-24; 66-78; 90-102
14	Zambujeiro - Cantanhede	130	101	-29	29-31; 84-90; 120-130
15	Portunhos - Catanhede	85	78	-7	49-67; 73-79
16	Portunhos - Catanhede	152	69	-83	48-54; 62-68; 74-80; 104-110; 116-122; 128-134; 140-152
17	Portunhos - Catanhede	66	64	-2	28-34; 40-46; 52-64
18	Portunhos - Cantanhede	130	78	-52	29-47; 59-65; 85-95; 110-119
19	Portunhos - Catanhede	80	53	-27	35-41; 53-59; 71-77
20	Portunhos - Cantanhede	127	77	-50	28-42; 58-60; 89-95; 113-119
21	Cadima - Cantanhede	75	89	14	45-65
22	Cadima - Cantanhede	100	80	-20	40-50
23	Cadima - Cantanhede	70	88	18	36-45; 50-65
24	Cadima - Cantanhede	65	76	11	40-46; 52-64
25	Cadima - Cantanhede	120	73	-47	114-108; 102-96; 80-84; 78-72; 66-60
26	Cadima - Cantanhede	100	62	-38	34-40; 52-58; 70-76; 88-94
27	Fornos - Cadima	118	104	-14	70-76; 82-88; 100-118
28	Lemedede - Cantanhede	123	112	-11	78-84; 90-96; 102-118; 114-120
29	Outil - Cantanhede	120	80	-40	54-60; 66-72; 90-96; 108-114
30	Outil - Cantanhede	78	86	8	36-45; 50-65
31	Cantanhede	100	63	-37	32-38; 50-56; 62-68; 80-86; 92-98
32	Cantanhede	70	87	17	46-58; 64-70
33	Cantanhede	100	78	-22	94-88; 82-76; 70-64; 58-52; 46-40
34	Concelho de M.V -Arazede	148	105	-43	70-76; 94-100; 124-139
35	Concelho de M.V - Gatões	103	78	-25	30-32; 72-74; 93-95
		Furos entre 50-100 m			
		Furos entre 100-150 m			
		Furos ≥ a 150 m			

ANEXO II

Furos seleccionados	Localização	Coordenadas XY		Profundidade (m)	Cota superfície (m)	Cota-base do furo (m)
		P	M			
4	Ançã - Cantanhede	540847	4458427	137	53	-84
6	Ançã - Cantanhede	539329	4458670	80	80	0
7	Ançã - Cantanhede	541123	4457141	80	28	-52
8	Ançã - Cantanhede	540844	4458358	60	45	-15
9	Ançã - Cantanhede	541129	4457864	100	30	-70
10	Ançã - Cantanhede	541133	4458809	53	46	-7
11	Ançã - Cantanhede	541121	4456952	120	44	-76
12	Ançã - Cantanhede	540762	4459096	100	68	-32
15	Portunhos - Catanhede	538321	4460581	85	78	-7
16	Portunhos - Catanhede	538898	4460725	152	69	-83
17	Portunhos - Catanhede	538983	4460977	66	64	-2
18	Portunhos - Cantanhede	537785	4462056	130	78	-52
19	Portunhos - Catanhede	538598	4461044	80	53	-27
20	Portunhos - Cantanhede	537543	4462074	127	77	-50
27	Fornos - Cadima	533139	4458983	118	104	-14
30	Outil - Cantanhede	535770	4461652	78	86	8
Furos seleccionados	Sistema aquífero	Calcários atravessados <i>(descrição da sondagem)</i>	Unidade correspondente			
4	Sistema aquífero O4	"Calcário cinzento, levemente fracturado a partir dos 70 m"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 25 m			
6	Sistema aquífero O4	"Calcário"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 55 m			
7	Sistema aquífero O5	"Calcário" e "Calcário"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 60 m			
8	Sistema aquífero O4	"Calcário"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 25 m			
9	Sistema aquífero O4	"Calcário"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 25 m			
10	Sistema aquífero O4-O5	"Calcários alterados"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 23 m			
11	Sistema aquífero O5	"Calcário cinzento por vezes alterado e argiloso"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 50 m			
12	Sistema aquífero O4-O5	"Calcários de Ançã"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 30 m			
15	Sistema aquífero O4	"Calcário"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 10 m			
16	Sistema aquífero O4	"Calcário com fracturas"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 10 m			
17	Sistema aquífero O4	"Calcário compacto" e "Calcário fracturado"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 10 m			
18	Sistema aquífero O4	"Calcário", "calcário fracturado" e "calcário cinzento"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 10 m			
19	Sistema aquífero O4	"Calcário esbranquiçado e fracturado"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 10 m			
20	Sistema aquífero O4	"Calcário", "calcário fracturado" e "calcário cinzento"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 10 m			
27	Sistema aquífero O4	"Calcário", "calcário fracturado" e "calcário cinzento"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 10 m			
30	Sistema aquífero O4	"Calcário"	CALCÁRIOS DE ANÇÃ a partir dos 10 m			

ANEXO III



ANEXO IV

	Nalguns casos extrapolado					
Furos	Nível 1 - base (m)	Nível 1 topo (m)	Nível 2 - base (m)	Nível 2 topo (m)	Nível 3 - base (m)	Nível 3 - topo (m)
4	53	41	95	89	137	131
6	68	50	74	70	128	120
7	65	56	80	72	133	127
8	60	40	90	80	135	129
9	70	65	100	94	134	127
10	50	44	80	75	126	120
11	54	42	96	90	120	114
12	58	52	94	88	122	115
15	67	49	79	73	133	125
16	65	48	80	74	134	128
17	64	52	82	76	120	115
18	47	29	95	85	119	110
19	59	53	77	71	132	125
20	42	28	95	89	119	113
27	74	70	88	82	118	105
30	65	50	88	84	115	109

Níveis produtivos definidos, com base na posição dos tubos-ralo, para o aquífero cársico suportado por J_{ab}^2

ANEXO V

Nível 2 - base (m)	Nível 2 topo (m)	Nível 2 médio (m)	Nível 3 - base (m)	Nível 3 - topo (m)	Nível 3 médio (m)
95	89	92	137	131	134
74	70	72	128	120	124
80	72	76	133	127	130
90	80	85	135	129	132
100	94	97	134	127	130,5
80	75	77,5	126	120	123
96	90	93	120	114	117
94	88	91	122	115	118,5
79	73	76	133	125	129
80	74	77	134	128	131
82	76	79	120	115	117,5
95	85	90	119	110	114,5
77	71	74	132	125	128,5
95	89	92	119	113	116
88	82	85	118	105	111,5
88	84	86	115	109	112

ANEXO VI

Furos	Nível I - base (m)	Nível I topo (m)	Nível II - base (m)	Nível II topo (m)
4	53	41	134	92
6	68	50	124	72
7	65	56	130	76
8	60	40	132	85
9	70	65	130,5	97
10	50	44	123	77,5
11	54	42	117	93
12	58	52	118,5	91
15	67	49	129	76
16	65	48	131	77
17	64	52	117,5	79
18	47	29	114,5	90
19	59	53	128,5	74
20	42	28	116	92
27	74	70	111,5	85
30	65	50	112	86

Níveis I e II para o segundo modelo conceptual 3D.

ANEXO VII

	Nalguns casos extrapolado							
Furos	Nível i - base (m)	Nível i topo (m)	Nível ii - base (m)	Nível ii topo (m)	Nível iii - base (m)	Nível iii - topo (m)	Nível iv - base (m)	Nível iv - topo (m)
4	53	41	95	77	120	90	140	115
6	68	50	74	68	128	120	135	126
7	65	56	90	80	119	88	130	119
8	60	40	89	79	117	88	128	116
9	70	65	110	94	110	127	138	126
10	50	44	80	75	126	120	132	125
11	78	66	96	80	96	125	135	118
12	82	64	94	80	122	95	130	119
15	67	49	79	65	137	125	153	136
16	65	48	95	74	137	93	152	136
17	64	52	88	76	137	119	154	134
18	65	59	95	85	120	94	132	117
19	59	53	96	75	138	94	152	139
20	66	72	96	84	115	94	135	117
27	78	70	91	76	116	89	129	114
30	65	50	88	84	110	88	131	110