

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Carlos António Anunciação Marques

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E
GEOFÍSICA DA REGIÃO ENVOLVENTE DA
CAPTAÇÃO-ETA DA RIBEIRA DE ALGE
(FIGUEIRÓ DOS VINHOS)
AVALIAÇÃO DAS RESERVAS HÍDRICAS DOS
DEPÓSITOS ALUVIONARES**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Geociências: Ramo de Recursos Geológicos orientada pelo Professor Doutor José Manuel Martins Azevedo e pelo Professor Doutor Fernando Pedro Ortega de Oliveira Figueiredo apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Outubro de 2020

Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Caracterização Hidrogeológica e Geofísica da
Região Envolvente da Captação-ETA da Ribeira de
Alge (Figueiró dos Vinhos) – Avaliação das
Reservas Hídricas dos Depósitos Aluvionares

Carlos António Anunciação Marques

Dissertação no âmbito do Mestrado em Geociências: Ramo de Recursos Geológicos orientada pelo Professor Doutor José Manuel Martins Azevedo e pelo Professor Doutor Fernando Pedro Ortega de Oliveira Figueiredo apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Outubro de 2020

Resumo

A presente dissertação tem como principais objetivos a caracterização hidrogeológica e geofísica (método eletromagnético no domínio frequência) dos domínios circundantes da Captação-ETA da Rib^a de Alge (Figueiró dos Vinhos), assim como, a determinação de volumes hídricos – reservas hídricas máxima, mínima e reguladora – armazenados nas unidades aquíferas aluvionares locais. Efetua-se ainda a caracterização geral do setor da bacia hidrográfica da Rib^a de Alge situado a montantes da ETA (BhRA).

A nível geológico, a BhRA está inserida maioritariamente na Unidade geológico-estrutural do Maciço Antigo, contendo rochas com idades que variam entre o Pré-câmbrico e o Paleozoico. Ocorrem ainda rochas mais recentes do Mesozóico, pertencentes à Unidade geológica da Orla Mesocenozóica Ocidental. Esta região apresenta um forte controlo estrutural, derivado da Orogenia Hercínica, apresentado uma orografia com vales estreitos e encaixados. Nos domínios circundantes da ETA afloram formações xistentas do Complexo xisto-grauváquico, rochas quartzíticas do Ordovícico e depósitos aluvionares recentes.

A nível hidrogeológico a BhRA situa-se na Unidade hidrogeológica do Maciço Antigo Indiferenciado. No domínio estudado ocorrem várias unidades aquíferas – nos depósitos aluvionares – ou potencialmente aquíferas – nas formações quartzíticas e nos locais mais fraturados.

Realizaram-se inclusive perfis geofísicos atendendo ao método eletromagnético no domínio frequência, mediante a condutividade elétrica aparente medida nas margens da ribeira, que permitiram sinalizar: (1) 3 locais com maior fraturação; (2) um local com potencial interesse para execução de furos, para captação de massas de água subterrânea. As anomalias geradas derivam de fraturas existentes no local, correspondendo a anomalia com valores mais elevados à unidade geológica dos quartzitos do Ordovícico, sendo esta bastante produtiva a nível hidrogeológico, em razão de esta se apresentar bastante fraturada, permitindo a circulação e o armazenamento de água.

No que se refere às massas de água superficiais e subterrâneas da BhRA, reconhece-se que a recarga aquífera resulta maioritariamente da infiltração e da transferência do escoamento superficial resultante da precipitação atmosférica; ocorrendo ainda recarga a partir da circulação subterrânea entre outras massas de água. A descarga aquífera ocorre por processos naturais através da evaporação, evapotranspiração, e para unidades aquíferas profundas, e ainda por processos induzidos como furos, poços, minas de água, entre outras.

O cálculo das reservas hídricas associadas aos 3 principais depósitos aluvionares existentes a montante da ETA, obtidos através de processos geomorfológicos simples, aponta para os seguintes valores de reserva reguladora para uma porosidade eficaz de 15%: 732,2 m³; 419,4 m³; 280,7 m³ respetivamente para os depósitos 1, 2 e 3.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica de Ribeira de Alge; Prospeção eletromagnética; Hidrogeologia; Depósitos aluvionares; Reserva reguladora.

Abstract

The present dissertation has as main objectives the hydrogeological and geophysical study (electromagnetic method in the frequency domain) of the surrounding domains of the Captação-ETA from Rib^a de Alge (Figueiró dos Vinhos), as well as the determination of water volumes - maximum, minimum and regulatory water reserves - stored in local alluvial aquifer units. It also took place a general characterization of the Rib^a de Alge hydrographic basin located upstream of the ETA (BhRA).

At the geological level, the BhRA is mainly inserted in the geological-structural unit of the Old Massif, containing rocks with various ages between the Pre-Cambrian and the Paleozoic. It still occurs more recent Mesozoic rocks, belonging to the geological unit of the Western Meso-Cenozoic Coast. This region presents a strong structural control, derived from the Hercynic Orogeny, presenting an orography with narrow and fitted valleys. In the surrounding domains of the ETA, schist formations of the Schist-Grauváquico-Complex, quartzitic rocks of the Ordovician and recent alluvial deposits emerge.

At the hydrogeological level, BhRA is located in the Hydrogeological Unit of the Undifferentiated Old Massif. In the studied region, there are several aquifer units - in alluvial deposits - or potentially aquifers - in quartzite formations and in the more fractured places.

Geophysical profiles were also performed, taking into account the electromagnetic method in the frequency domain, based on the apparent electrical conductivity measured on the riverside banks, which allowed to signal: (1) 3 places with greater fracture; (2) a location with potential interest for drilling holes, for capturing bodies of groundwater. The anomalies generated are derived from local fractures, corresponding the anomaly with higher values to the geological unit of the Ordovician quartzites, which is very productive at hydrogeological level, due to the fact that it's quite fractured, allowing the circulation and storage of water.

With regard to BhRA's groundwater and surface bodies, it is recognized that the aquifer recharge results mainly from infiltration and transfer of surface runoff resulting from atmospheric precipitation; still recharging from the underground circulation among other bodies of water. Aquifer discharge occurs by natural processes through evaporation, evapotranspiration, and to deep aquifer units, and also by induced processes such as boreholes, wells, water mines, among others.

The calculation of water reserves associated with the 3 main alluvial deposits existing upstream of the ETA, and obtained through simple geomorphological processes, points to the following regulatory reserve values for an effective porosity of 15%: 732,2 m³; 419,4 m³; 280,7 m³ respectively for deposits 1, 2 and 3.

Key words: Ribeira de Alge hydrographic basin; Electromagnetic prospecting; Hydrogeology; Alluvial deposits; Regulatory reserve.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer às várias pessoas que contribuíram e apoiaram ao longo de todo o meu percurso académico, permitindo a realização da presente dissertação neste último ano, a todos o meu sincero agradecimento:

Um agradecimento especial aos meus orientadores, Professor Doutor José Manuel Martins Azevedo por todo o apoio, amizade, disponibilidade, ensinamentos, empenho, paciência, conselhos e sugestões dadas nesta dissertação e ao longo destes anos; ao Professor Doutor Fernando Pedro Ortega de Oliveira Figueiredo por ter aceitado o convite para orientação desta dissertação, pela sua disponibilidade, ajuda, integração, simpatia e por todos os conhecimentos transmitidos, tendo em consideração todo o esforço desde o principio deste trabalho.

Às Águas do Centro Litoral, S.A por toda a receptividade, permitindo a realização de um Estágio Curricular em conjunto com a Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra (DCT), nomeadamente ao Professor Doutor Alexandre Manuel de Oliveira Soares Tavares e ao Sr. Eng^o Mauro Azevedo, por toda a documentação fornecida e disponibilidade proporcionada, para o desenvolvimento deste projeto.

À Professora Doutora Lídia Gil Catarino e ao Professor Doutor Nelson Viegas Rodrigues por toda a disponibilidade e aprendizagens transmitidas em várias questões ao longo desta dissertação.

Ao Professor Doutor Vasco Mantas pela acessibilidade e documentação facultada para a realização deste trabalho.

À Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro pela cedência do equipamento de geofísica EM34, nomeadamente ao Professor Doutor José Martinho Lourenço.

À minha namorada por todo o incentivo, carinho e ajuda em todos os momentos, levando a que todo este esforço fosse concretizável.

A toda a minha família, em especial aos meus pais, irmã e avós por todo o apoio e incentivo demonstrado a todo o tempo.

A todos os meus colegas e amigos que proporcionaram momentos que levo para a vida, e que tornaram Coimbra memorável. Desejo as maiores felicidades, e muito sucesso nos seus percursos profissionais.

Para a minha avó.

Índice

Índice de Figuras	I
Índice de Tabelas	V
Lista de Abreviaturas	VII
1. Introdução	1
1.1. A importância da Água na Terra.....	1
1.2. Área em estudo	3
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Metodologias	4
1.4.1. Consulta bibliográfica, documental e cartográfica	5
1.4.2. Trabalho de campo	5
1.4.3. Atividades de gabinete.....	5
2. Enquadramento geral da área de estudo	7
2.1. Geográfico e Administrativo.....	7
2.2. Climatológico.....	8
2.2.1. Temperatura atmosférica	9
2.2.2. Precipitação atmosférica	10
2.2.3. Evapotranspiração Real.....	11
2.2.4. Escoamento superficial	12
2.3. Hidrográfico	13
2.4. Geológico.....	14
2.5. Tectónico-estrutural e Geomorfologia	18
2.5.1. Tectónico-estrutural.....	18
2.5.2. Geomorfologia	19
2.6. Hidrogeológico	20
3. Enquadramento local.....	23
3.1. Topográfico.....	23

3.2. Hidrográfico	26
3.3. Geológico	31
3.4. Tectónico-estrutural e Geomorfologia	38
3.4.1. Tectónico-estrutural.....	38
3.4.2. Geomorfológico.....	39
3.5. Uso e ocupação do solo	41
4. Aplicação do método eletromagnético no domínio frequência para reconhecimento de estruturas geológicas	43
4.1. Fundamentos teóricos sobre o método eletromagnético	43
4.2. Aquisição e processamento dos dados	45
4.3. Interpretação de dados	50
5. Hidrogeologia local e avaliação dos recursos hídricos	57
5.1. Hidrogeologia das formações geológicas locais	57
5.2. Modelo hidrogeológico conceptual	58
5.2.1. Unidades aquíferas aluvionares	62
5.2.2. Aquífero quartzítico	63
5.3. ETA da Ribeira de Alge	64
5.4. Hidrogeoquímica da água captada na ETA de Ribeira de Alge	68
5.5. Avaliação dos recursos hídricos associadas às aluviões	72
6. Conclusões e recomendações	82
6.1. Conclusões	82
6.2. Recomendações	84
7. Referências bibliográficas	86

Índice de Figuras

Figura 1- Fluxograma das etapas e processos utilizados para a realização da presente dissertação.	4
Figura 2- Enquadramento do local de estudo em Portugal continental nas NUTS (I, II, III) (adaptado de CCDR, 2019).....	7
Figura 3- Localização da zona em estudo (marcado a vermelho) nos mapas de Temperatura média anual (esquerda) e Precipitação acumulada anual (direita) de Portugal Continental (adaptado de Instituto português do mar e da atmosfera, 2020).	8
Figura 4- Temperaturas médias anuais no domínio de estudo (adaptado de Atlas da Água, 2003).	9
Figura 5- Precipitação média anual do domínio de estudo (adaptado de PGRHT, repositório de mapas, 2012).....	10
Figura 6- Evapotranspiração real anual no domínio de estudo (adaptado de Atlas da Água, 2003).	11
Figura 7- Escoamento superficial médio anual no domínio de estudo (adaptado de Atlas da Água, 2003).	12
Figura 8- Localização da área de estudo na Bacia Hidrográfica do Tejo (adaptado PGRHT, repositório de mapas 2012).....	13
Figura 9- Localização da zona em estudo na carta das zonas paleogeográficas e tectónicas do Maciço Hespérico (adaptado de Ribeiro et al, Carta tectónica da Península Ibérica, 1979).....	15
Figura 10- Mapa geológico simplificado da bacia lusitânica com referência aos afloramentos do Jurássico (adaptado de Duarte et al, Geochemical evidences from the Lower Jurassic of Penichel, 2010).	17
Figura 11- Unidades Hidrogeológicas da Bacia Hidrográfica do Tejo-Sado (adaptado de ARH Tejo, Os aquíferos das bacias hidrográficas do Rio Tejo e das Ribeiras do Oeste, 2009).	20
Figura 12- Enquadramento da zona em estudo no mapa com o modelo digital de terreno da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge (imagem gerada através do software ArcGis® 10.6, com base nos dados altimétricos e Cartas topográficas da zona).	24
Figura 13- Mapa com o modelo digital do terreno do setor da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge situado a montante da ETA da Ribeira de Alge (imagem gerada através do software ArcGis® 10.6, com base nos dados altimétricos e Cartas topográficas da zona).	25
Figura 14- Rede de drenagem da Bacia Hidrográfica de Ribeira de Alge (imagem gerada no software ArcGis® 10.6 através das cartas militares 1:25000 da zona em estudo).	26
Figura 15- Rede de drenagem do setor Norte da Bacia Hidrográfica de Ribeira de Alge relativamente à ETA de Ribeira de Alge (imagem gerada no software ArcGis® 10.6 através das cartas militares 1:25000 da zona em estudo).....	27
Figura 16- Perfil longitudinal dos setores intermédio e superior da bacia hidrográfica de Ribeira de Alge, compreendido entre a ETA e a Serra da Lousã (perfil gerado em software ArcGis® 10.6).	28
Figura 17- Enquadramento geológico e estrutural dos domínios presentes na Bacia hidrográfica da Rib ^a de Alge. (fragmento da Carta geológica e tectónica de Gama Pereira, 1987; mapa gerado através de Software ArcGis® 10.6).	31

Figura 18- Enquadramento geológico e estrutural com rede de drenagem dos domínios locais da ETA da Rib ^a de Alge (fragmento da Carta geológica e tectónica de Gama Pereira, 1987).	32
Figura 19- Localização dos principais depósitos aluvionares situados nas imediações da ETA da Rib ^a de Alge (em imagem do Google Earth).	35
Figura 20- Apresentação das várias litologia reconhecidas no campo do local de estudo: (1)- Complexo xisto-grauváquico; (2)- Micaxistos quartzo-micáceos; (3)- Filádios bastante dobrados pertencentes à antiforma da Arega; (4)- Gnaisses tonalitos da antiforma da Arega; (5)- Formação de quartzitos do Ordovícico; (6)- conglomerados com clastos de quartzo do Grupo de Silves..	36
Figura 21- Corte geológico interpretativo da geologia da zona de estudo (adaptado de Gama Pereira, 1987 e criado em Software ArcGis® 10.6).....	37
Figura 22- Modelo digital de terreno com sobreposição da rede de drenagem (mapas gerados em software ArcGis® 10.6, com base nas linhas de altimetria da zona).....	39
Figura 23- Mapa de declives da BhRA (mapas gerados em software ArcGis® 10.6, com base nas linhas de altimetria da zona).....	40
Figura 24- Mapa de uso e ocupação do solo nas envolventes do local estudado (adaptado de Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios – PMDFCI, novembro 2014).....	42
Figura 25- Aspeto geral do uso e ocupação do solo nas envolventes da Captação e ETA da Rib ^a de Alge (imagem retirada de Google Earth, 2019).	42
Figura 26- Posicionamento das bobines transmissora (Tx) e recetora (Rx), no terreno, e respetiva representação dos campos primário (Hp) e secundário (Hs) (Figueiredo, 2005).	43
Figura 27- Amplitude dos valores de condutividade para vários tipos de rocha (a) e águas (b) (Keary & Brooks, 1984).	45
Figura 28- Metodologia utilizada na recolha de dados com o condutímetro Geonics EM31 (Figueiredo, 2010).....	45
Figura 29- Metodologia utilizada na recolha de dados com o condutímetro Geonics EM34, dipolo vertical (a) e dipolo horizontal (b) (Figueiredo, 2010).	46
Figura 30- Localização dos perfis geofísicos P1, P2, P3.....	47
Figura 31- Perfil P1 criado com base na condutividade elétrica aparente, referente à margem direita da Ribeira de Alge.	51
Figura 32- Perfil P2 criado com base na condutividade elétrica aparente, referente à margem direita da Ribeira de Alge.	52
Figura 33- Perfil P3 criado com base na condutividade elétrica aparente, referente à margem esquerda da Ribeira de Alge.	53
Figura 34- Perfis P1, P2 e P3 de condutividade elétrica aparente e respetiva interpretação.....	55
Figura 35- Modelo 3D da posição dos valores de condutividade elétrica aparente registados junto à Ribeira de Alge (modelo gerado em software RockWorks 17).....	56
Figura 36- Posicionamento do modelo 3D dos perfis, nos locais em que foram efetuados. a) vista de Su-Sudoeste para Nor-Nordeste; b) vista de Este para Oeste (Modelo gerado em software RockWorks 17, posicionado no GoogleEarth, 2006).....	56
Figura 37- Localização na zona em estudo de: (1) geologia com os principais depósitos aluvionares locais; (2) principais zonas de fraturas; (3) rede de drenagem (imagem gerada em software ArcGis® 10.6).	59

Figura 38- Perfil representativo do modelo hidrogeológico conceptual proposto para a região em estudo – setor recuado da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge (modelo gerado em Software ArcGis® 10.6, com base na Carta geológica de Gama Pereira, 1987).	60
Figura 39- Perfil representativo do modelo hidrogeológico conceptual proposto para os domínios enquadrantes da ETA da Ribeira de Alge (modelo gerado em Software ArcGis® 10.6).	61
Figura 40- Localização e elementos estruturais da ETA de Ribeira de Alge.....	65
Figura 41- Perfis esquemáticos dos poços e drenos de inter-ligação da ETA da Rib ^a de Alge: 1 e 2 - poços secundários; 3 - poço principal (retirado dos relatórios de sondagem da captação de Ribeira de Alge).	66
Figura 42- Perspetiva geral do poço principal (3) e dos poços secundários (1 e 2), seguidamente do açude instalado a jusante.....	67
Figura 43- Variação dos valores de condutividade elétrica quantificados em amostras da água registados na ETA de Ribeira de Alge.....	70
Figura 44- Variação dos valores da temperatura quantificados em amostras da água registados na ETA de Ribeira de Alge.....	71
Figura 45- Variação dos valores do ph quantificados em amostras da água registados na ETA de Ribeira de Alge.	71
Figura 46- Localização dos depósitos aluvionares estudados (1, 2 e 3) e dos perfis topográficos efetuados em cada depósito (sobre imagem do GoogleEarth, 2006).	72
Figura 47- Aspeto geral dos depósitos aluvionares estudados: depósito 1 (a), depósito 2 (b) e depósito 3 (c).	73
Figura 48- Imagem interpretativa de perfil topográfico (gerado em ArcGis 10.6), com prolongamento das linhas de declive das formações xistentas (soco ou bed-rock do depósito aluvionar).	74
Figura 49- Ilustração dos prismas de base triangular obtidos para cada depósito aluvionar com base no traçado de perfis topográficos transversais e de extrapolações geomorfológicas simplificadas.	75
Figura 50- Representação da variação sazonal do nível freático (nível da água) nos depósitos aluvionares locais (h_{min} : Verão; h_{max} : Inverno).....	76

Índice de Tabelas

Tabela 1- Parâmetros morfométricos permanentes da bacia hidrográfica de Ribeira de Alge (adaptado de Azevedo, 2019).	29
Tabela 2- Balanço hídrico para o setor situado a montante da ETA da Bacia hidrográfica Ribeira de Alge	30
Tabela 3- Parâmetros operacionais dos condutivímetros Geonics EM31 e EM34 e profundidade de penetração efetiva em cada configuração (adaptado de Figueiredo, F. 2005).	46
Tabela 4- Descrição dos perfis executados na Ribeira de Alge.....	48
Tabela 5- Seleção dos valores de condutividade medidos e utilizados para desenvolver as secções VDs e HDs.	49
Tabela 6- Caracterização e classificação hidrogeológicas gerais das formações geológicas da zona em estudo.	57
Tabela 7- Características hidrogeológicas das unidades aquíferas aluvionares.	62
Tabela 8- Características hidrogeológicas do aquífero associado aos quartzitos do Ordovício.	63
Tabela 9- Resultados de análises físico-químicas efetuadas em amostras da água captada na ETA de Ribeira de Alge em 2019 e 2020.....	69
Tabela 10- Variação sazonal do nível de água.	76
Tabela 11- Valores dos volumes total, saturado máximo e saturado mínimo para o depósito aluvionar 1, localizado junto à ETA de Rib ^a Alge.	77
Tabela 12- Valores dos volumes total, saturado máximo e saturado mínimo para o depósito aluvionar 2, localizado junto a tanque de água a montante da ETA.	78
Tabela 13- Valores dos volumes total, saturado máximo e saturado mínimo para o depósito aluvionar 3, localizado logo depois da povoação da situada a montante da ETA.	78
Tabela 14- Valores médios da porosidade eficaz para algumas das principais rochas e depósitos (tabela retirada de Decreto-Lei nº382/99, de 22 de setembro).	80
Tabela 15- Valores finais da reserva mínima, máxima e reguladora, para uma porosidade eficaz de 5%.	80
Tabela 16- Valores finais da reserva mínima, máxima e reguladora, para uma porosidade eficaz de 15%.	81
Tabela 17- Valores finais da reserva mínima, máxima e reguladora, para uma porosidade eficaz de 35%.	81

Lista de Abreviaturas

BhRA – Bacia Hidrográfica de Ribeira de Alge
°C – Celsius
E - Este
ETA – Estação de tratamento de águas
ENE – És-nordeste
ETR – Evapotranspiração real
HD – Dipolo Horizontal
MDT – Modelo Digital de Terreno
mS/m – Microsiemens por metro
N – Norte
NE – Nordeste
NNE – Nor-nordeste
NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
NNW – Nor-noroeste
NW – Noroeste
PGRHT – Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo
Rib^a – Ribeira
Rx – Bobine Recetora
S – Sul
SE – Sudeste
SNIRH – Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos
SSE – Su-sudeste
SSW – Su-sudoeste
SW – Sudoeste
Tx – Bobine Transmissora
VD – Dipolo Vertical
W – Oeste
WSW – Oés-sudoeste
ZCI – Zona Centro Ibérica
ZOM – Zona Ossa Morena

1. Introdução

1.1. A importância da Água na Terra

A água é um dos constituintes mais abundantes no planeta Terra, ocupando cerca de 71% da superfície terrestre. Cerca de 96% desta corresponde a água salgada e apenas 4% corresponde a água doce, sendo uma componente indispensável à sustentabilidade ambiental e à manutenção de todas as formas de vida na Terra.

Atualmente, a água é utilizada em vários setores das atividades humanas destacando-se o uso na alimentação, na higiene e saneamento, na produção de energia, na agricultura e na indústria. Uma vez que a água tem uma importância bastante elevada na atualidade e tendo em conta a enorme importância da água e a muito reduzida quantidade de água doce existente na Terra, é necessário gerir e utilizar de forma sustentável as várias massas de água, de modo a bem preservar este recurso natural.

Por outro lado, sabe-se que desses 4% de água doce existente, 68% está inserido nos glaciares e neves perpétuas, e que 30% está localizado nas formações rochosas - massas de água subterrânea. Os restantes 2% correspondem a águas superficiais como rios, lagos, pântanos, etc. Concluindo-se, portanto, que as massas de água subterrânea possuem uma acentuada relevância.

Atualmente, discute-se intensamente a problemática das alterações climáticas e a influencia do ser humano nesta componente, havendo estudos científicos que indicam que a temperatura nos próximos anos irá aumentar devido à emissão de gases de efeito estufa, por ação desses fatores antropogénicos. Devido a estas evidências, adverte-se outras consequências, dos quais neste caso irá afetar essencialmente as calotes polares, em que serão levadas ao degelo onde iram se juntar à água salgada, resultando no desaparecimento mais acentuado de água potável. Para além deste cenário, existem outras causas como a utilização de água para consumo humano e exploração de massas de água para várias secções como a indústria, a agricultura, entre outros. Desta forma, todos estes aspetos levam à utilização intensiva e ao esgotamento acentuado da água potável.

Neste enquadramento é necessário a intervenção do ser humano para a gestão sustentável das diferentes massas de água e de outros fatores que impliquem a contaminação e sobre-exploração destas. Concluindo que é necessário a coordenação da atividade da indústria de modo a reduzir a emissão de gases de efeito estufa, através de realização de estudos hidrogeológicos que determinem a quantidade, a qualidade, o fluxo hidrodinâmico, e outros, para compreender melhor o comportamento da água tanto à superfície como a nível subterrâneo para uma diversificação das massas de água exploradas.

Toda a água existente na Terra está num ciclo contínuo, ao qual é designado de ciclo da água. Toda a quantidade de água existente na biosfera, na atmosfera, na hidrosfera, ou na litosfera, está em constante movimento, modificando várias vezes o estado da água, movimentando a água no planeta por múltiplos sistemas diferentes. As águas subterrâneas apresentam um papel bastante importante, visto que de toda a água doce disponível para consumo do ser humano, 96% ser derivada de águas subterrâneas.

As massas de água subterrâneas ocorrem nas formações geológicas e derivam de vários processos, designados por recarga aquífera. Quando as águas atingem uma barreira impermeável, ocupam os poros e as descontinuidades das rochas, originando um domínio saturado, denominado de aquífero. A água subterrânea pode retornar à superfície através de exurgências, e descarga para lagos, oceanos, rios, ou inclusive ser captada por furos, galerias ou poços.

Em contrapartida as águas superficiais são o seguimento de águas acumuladas à superfície. Estas foram geradas maioritariamente pela precipitação atmosférica, sofrendo um processo de escoamento superficial (runoff), todos os restantes processos como a infiltração, a evaporação, etc, que levam a que a água entre em outros domínios como o subterrâneo e atmosférico. A evolução do escoamento superficial depende das características dos solos e das rochas existentes dentro da bacia hidrográfica, envolvendo deste modo as águas superficiais com as subterrâneas (Naime, 2011).

O estudo das águas superficiais deve, sempre que possível, ser feito ao nível das bacias hidrográficas. Relativamente às massas de água subterrânea, os estudos deverão ser ao nível da unidade aquífera ou da bacia hidrogeológica (sistema aquífero).

1.2. Área em estudo

O local estudado nesta dissertação encontra-se no distrito de Leiria mais concretamente na sua zona Este, mais precisamente no extremo W do município de Figueiró dos Vinhos. O domínio em estudo está inserido na bacia hidrográfica da Ribeira de Alge (afluente do Rio Zêzere), localizando-se nas proximidades da aldeia de Ribeira de Alge, e nas envolventes de onde se situa a ETA de Ribeira de Alge.

A seleção desta área de estudo resultou da implementação de um protocolo efetuado entre o Departamento de Ciências da Terra da FCTUC, da Universidade de Coimbra e as Águas do Centro Litoral objetivado para a avaliação dos recursos hídricos locais, nomeadamente dos recursos hídricos subterrâneos.

1.3. Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo principal a caracterização das massas de água e dos recursos hídricos, nomeadamente dos subterrâneos, da região de Ribeira de Alge.

No sentido de se atingir aquela meta genérica foram definidos os seguintes objetivos principais e secundários.

Principais:

- Identificação, caracterização e avaliação das massas de água locais superficiais e subterrâneas;
- Caracterização (geomorfológica, geológica, geofísica e hidrogeológica) das unidades aquíferas locais, nomeadamente dos depósitos aluvionares;
- Indicação de cenários de gestão e exploração das massas de água locais.

Secundários:

- Caracterização física, regional e local da área de estudo (climatologia, topografia, hidrografia, uso e ocupação do solo);
- Caracterização geológico-estrutural e hidrogeológica local;
- Avaliação das reservas hídricas locais, com ênfase nas reservas associadas aos depósitos aluvionares;
- Integração dos elementos geológicos, geofísicos e hidrogeológicos e desenvolvimento de um modelo hidrogeológico conceptual da região.

1.4. Metodologias

Neste subcapítulo serão apresentados, em formato resumido, as várias etapas e métodos aplicados na realização da presente dissertação. Os estádios de trabalho foram subdivididos em 4 fases distintas, proporcionando uma estruturação mais simplificada, e promovendo o atingir dos objetivos estabelecidos.

Em suma, a sequência das metodologias desenvolvidas ao longo deste trabalho incluíram: (1) inicialmente pela pesquisa e recolha de dados bibliográficos, relacionados com estudos prévios do local de estudo, bem como a delimitação e o reconhecimento da área; (2) numa segunda fase realizou-se o trabalho de campo, que consiste na caracterização geológica, hidrogeológica e geofísica da área; (3) a terceira fase inclui a análise, interpretação e tratamento dos dados de campo e da recolha bibliográfica; (4) na quarta e última fase efetuou-se a redação da presente dissertação (Figura 1).

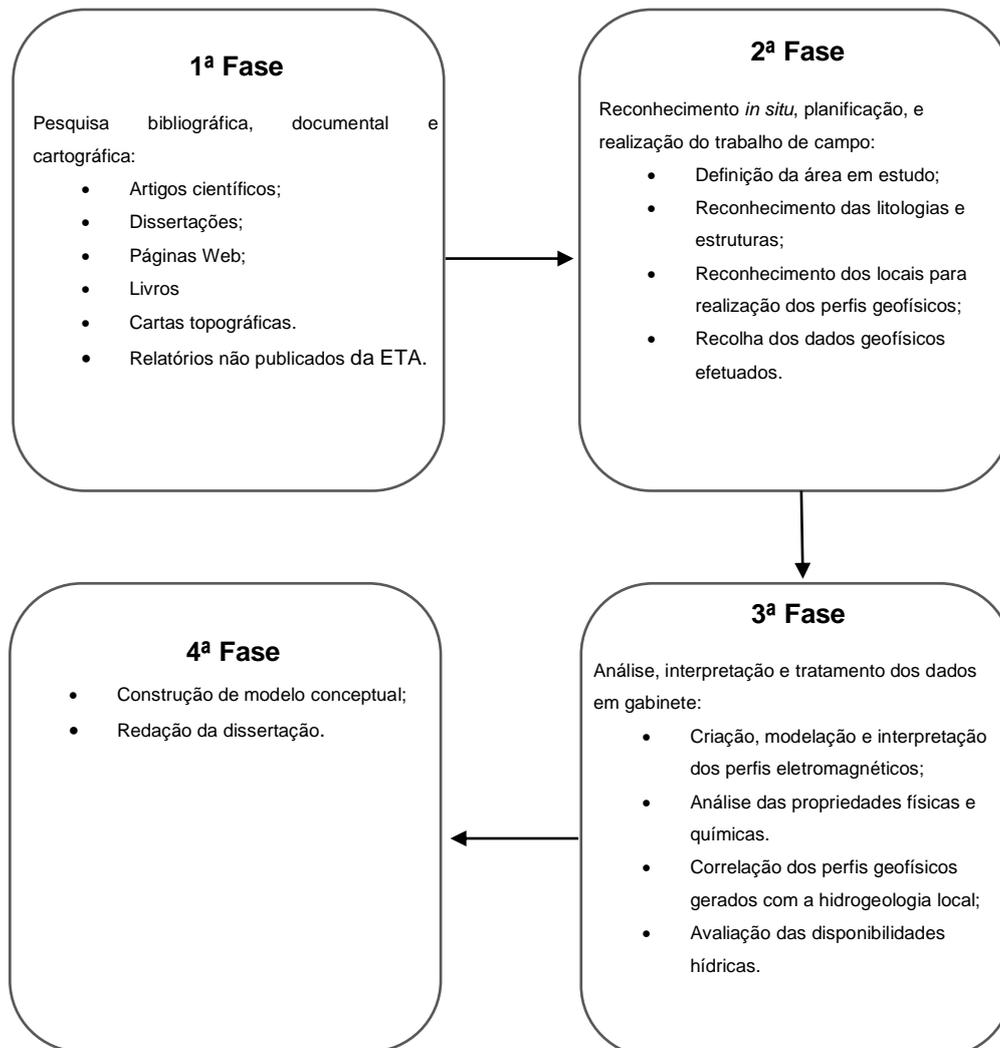


Figura 1- Fluxograma das etapas e processos utilizados para a realização da presente dissertação.

1.4.1. Consulta bibliográfica, documental e cartográfica

Este passo integrou a recolha de artigos científicos, dissertações de mestrado e doutoramento compreendidos na região em estudo, livros, material fornecido pelas Águas do Centro Litoral sobre a ETA da Rib^a de Alge e sobre as características dos depósitos aluvionares locais, e outros dados disponíveis nas páginas Web.

Do ponto de vista cartográfico, utilizou-se as Cartas Militares do Exército nº 252, 263, 264, 275, 276 e 288, à escala 1:25000, e dado à inexistência de nenhuma carta geológica da zona, à escala 1:50000, recorreu-se à Carta geológica incluída na tese de doutoramento de Gama Pereira (1987). Foi também utilizado a nível climatológico e hidrogeológico, os elementos presentes no Atlas da Água.

1.4.2. Trabalho de campo

O trabalho de campo realizado iniciou-se em fevereiro de 2020, com o reconhecimento das litologias e identificação de várias estruturas (falhas e diaclasamentos, contactos geológicos, etc), para compreensão dos fatores condicionantes das massas de água subterrânea. Em junho de 2020 iniciou-se a campanha de prospeção geofísica com a realização de perfis eletromagnéticos com os condutímetro Geonics EM31 e EM34. Os perfis solucionaram-se serem realizados nas estradas e trilhos, que acompanhavam a ribeira paralelamente, de maneira a serem evidenciadas estruturas geológicas, e compreendendo o seu funcionamento.

Foram ainda observadas as estruturas de captação e tratamento de águas da ETA de Ribeira de Alge.

1.4.3. Atividades de gabinete

As atividades de gabinete realizadas nesta dissertação, incluíram:

- Interpretação dos dados obtidos no campo e correlação com os dados bibliográficos adquiridos;
- Modelação e criação de imagens;
- Tratamento dos dados geomorfológicos e hidrogeológicos, ligados maioritariamente aos depósitos aluvionares;
- Elaboração do modelo hidrogeológico conceptual, e calculo de reservas hídricas.

Para o desenvolvimento desta dissertação, foram utilizados diversos softwares informáticos, para todo o processamento dos dados:

- ArcGis® 10.6, para a construção de mapas e perfis geológicos;
- Surfer 12, para modelação e elaboração dos perfis eletromagnéticos;
- Microsoft Office 365, com base no Microsoft Word, Excel e PowerPoint, para toda a realização dos textos, tabelas, e elaboração da apresentação da dissertação;
- Google Earth Pro, para localização dos locais a efetuar o levantamento de dados de condutividade elétrica, e georreferenciação em coordenadas UTM do mapa geológico;
- RockWorks 17, para modelação e posicionamento dos perfis nos locais exatos, onde foram realizados;
- CorelDraw X7, para construção de modelo conceptual e determinação do tamanho e espessura dos depósitos aluvionares.

2. Enquadramento geral da área de estudo

Neste capítulo pretende-se apresentar os vários enquadramentos a nível regional da área de estudo, tais como geográfico e administrativo, hidrográfico, climatológico, geológico, e tectónico-estrutural e geomorfológico.

2.1. Geográfico e Administrativo

A área de estudo corresponde ao setor a montante da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge (BhRA) e está inserida em Portugal Continental (NUTS I), Região Centro (NUTS II), e Região de Leiria (NUTS III) (CCDR, 2014-2020) (Figura 2).

Este domínio em estudo está localizado maioritariamente no distrito de Leiria e em menor extensão nos distritos de Coimbra e de Castelo Branco. Em Leiria atravessa o concelho de Figueiró dos Vinhos, e uma pequena parte do concelho de Alvaiázere. Em Coimbra, ocupa parte do concelho de Penela, em Castelo Branco, integra o concelho da Sertã. A BhRA inclui várias localidades tais como Alge, Campelo, Torgal, Casal Velho, Azeitão, Casal de S. Simão, Bacelo, Conhal, Casal de Alge, Poeiro, e Foz de Alge.

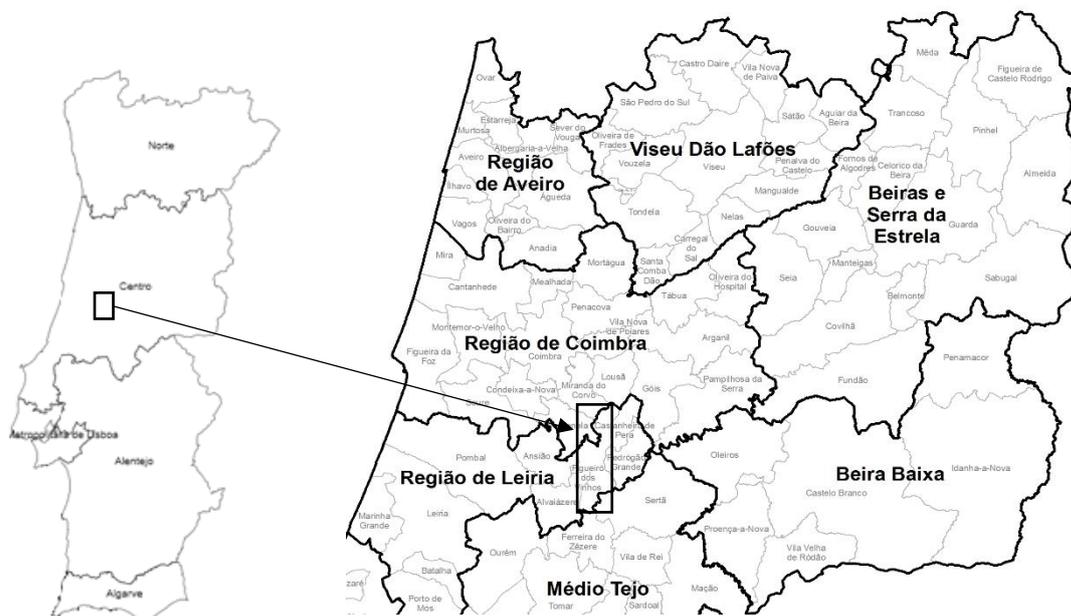


Figura 2- Enquadramento do local de estudo em Portugal continental nas NUTS (I, II, III) (adaptado de CCDR, 2019).

2.2. Climatológico

Em Portugal Continental o clima apresenta uma grande heterogeneidade, quer de Norte para Sul, como do Litoral para o Interior do país devido a ações climáticas geradas no oceano Atlântico e no mar Mediterrânico, e da variação da orografia ao longo do país (Figura 3).

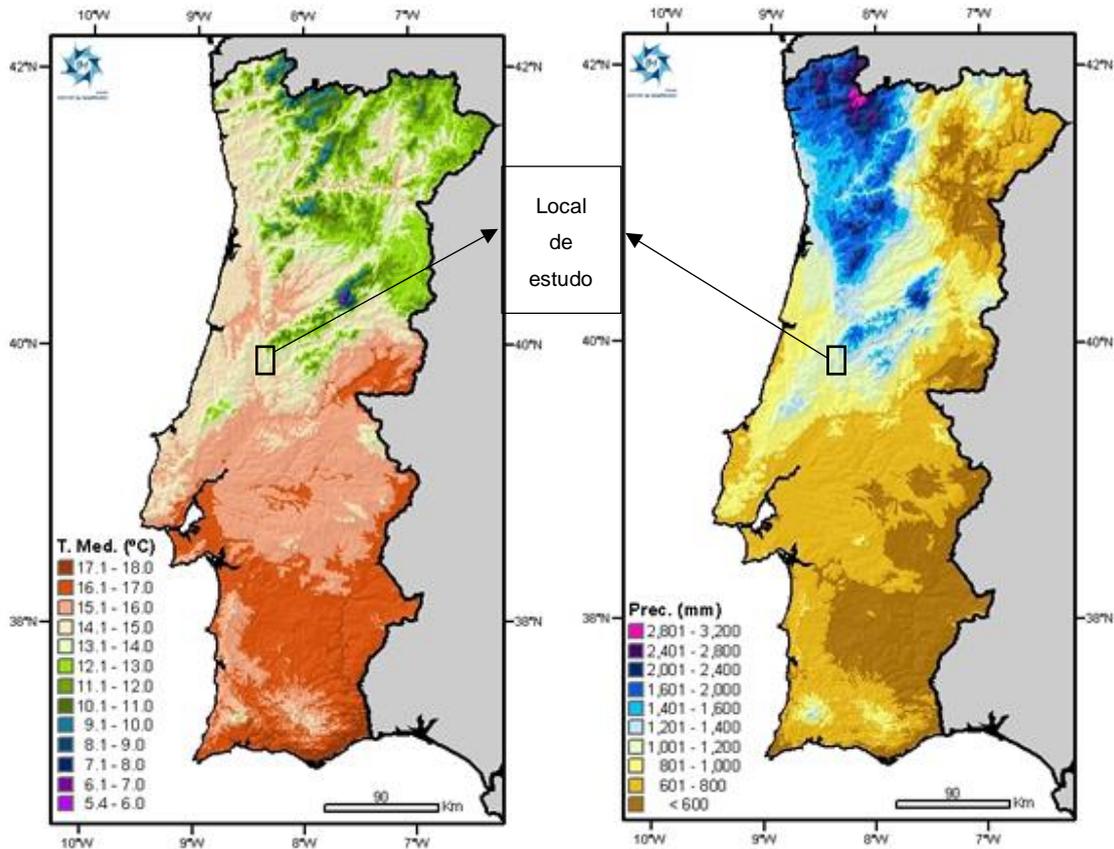


Figura 3- Localização da zona em estudo (marcado a vermelho) nos mapas de Temperatura média anual (esquerda) e Precipitação acumulada anual (direita) de Portugal Continental (adaptado de Instituto português do mar e da atmosfera, 2020).

De acordo com, a classificação climática de Köppen – Geiger e de Thornthwaite, referido no Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (2012), a área de estudo delimitada apresenta:

- Consoante a classificação climática de Köppen – Geiger, a zona de estudo tem um clima do tipo Csb, que diz ser um clima mediterrânico de verão fresco, ou seja, com um clima temperado quente e húmido, em que no mês mais chuvoso no inverno ocorre três vezes mais precipitação do que no mês mais seco do verão.

- De acordo com a classificação de Thornthwaite, o domínio de estudo é classificado com um clima B4B'4, registado na estação mais próxima do local, na qual se refere um clima húmido (B4), mesotérmico (B'4), ou seja, é um clima temperado e húmido, com uma considerável quantidade precipitação.

2.2.1. Temperatura atmosférica

Segundo os dados obtidos no PGRHT (2012), a temperatura média anual da bacia nas zonas mais a norte e com maior altitude é de 7,4°C, contrariamente nas zonas de estuário essencialmente, atinge uma temperatura média de 16,9°C. Todavia a estação meteorológica de Cernache do Bonjardim registou uma temperatura média anual de 14°C, sendo esta a estação mais próxima do local de estudo.

Mediante a análise da Figura 4 adaptada de SNIRH (2003), a temperatura média anual varia bastante ao longo do percurso da bacia, em que no setor mais a norte a temperatura pode variar entre os 7,5 e os 12,5 °C, enquanto que no setor sul pode atingir valores entre os 12,5 e 17,5 °C.

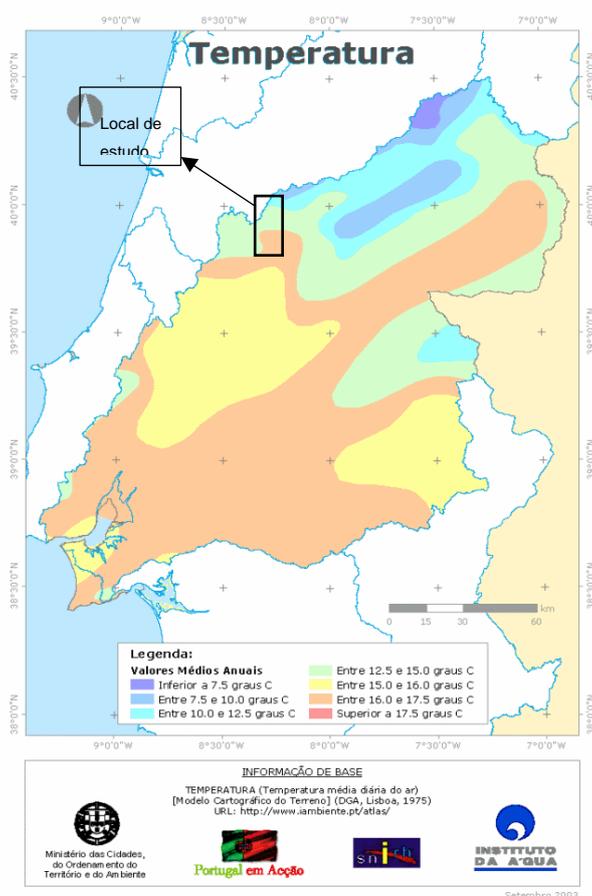


Figura 4- Temperaturas médias anuais no domínio de estudo (adaptado de Atlas da Água, 2003).

2.2.2. Precipitação atmosférica

De acordo com os dados da Figura 5, a precipitação média anual varia entre 1000mm e 1600mm durante o percurso da bacia, atingindo os valores mais elevados a norte e os valores mais reduzidos a sul.

Com base nos dados adquiridos nas várias estações meteorológicas, no estudo do ambiente de Figueiró dos Vinhos (2015), a precipitação total anual alterna entre os 1260,5mm na estação de Penela, mais a norte, e os 1051,7mm na estação Rego da Murta, mais a sul.

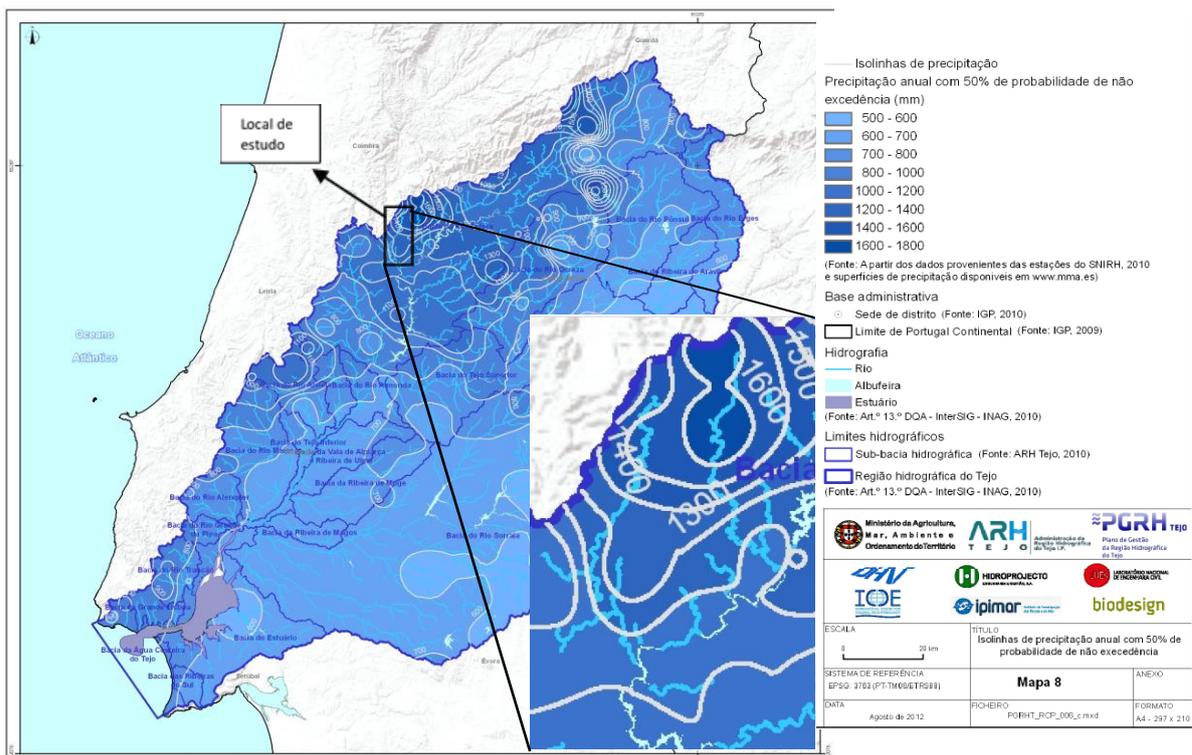


Figura 5- Precipitação média anual do domínio de estudo (adaptado de PGRHT, repositório de mapas, 2012).

2.2.3. Evapotranspiração Real

Tendo em conta os dados disponibilizados pelo Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (2012), a evapotranspiração real da região de estudo atinge um valor de 530mm na estação mais próxima de Cernache de Bonjardim.

Baseado na Figura 6, obtida no Atlas da Água (2003) a evapotranspiração real varia entre valores 600 e 700mm a norte, e 500 e 600mm na região mais a sul do local de estudo.

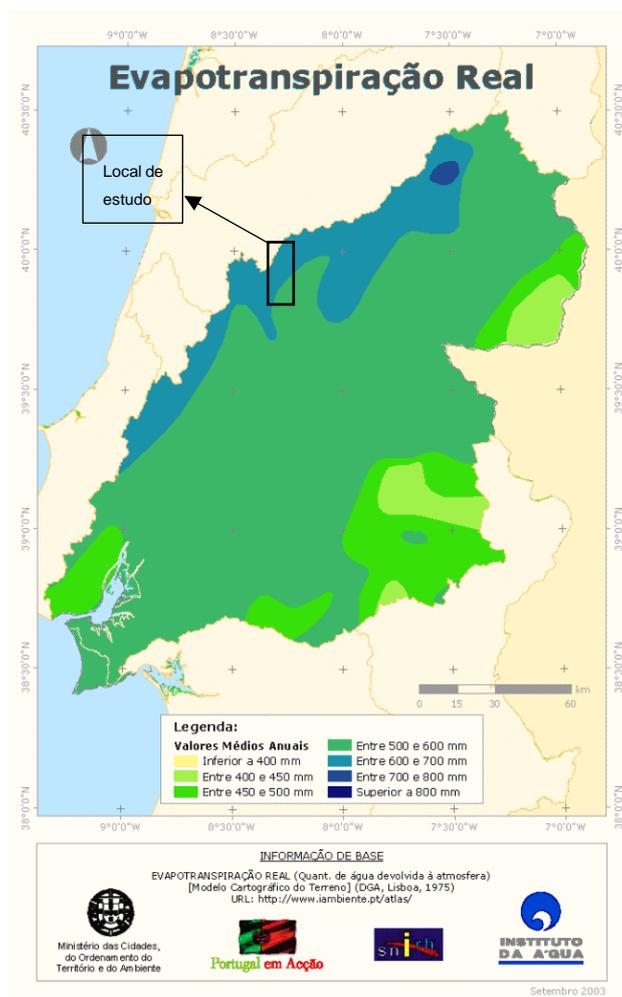


Figura 6- Evapotranspiração real anual no domínio de estudo (adaptado de Atlas da Água, 2003).

2.2.4. Escoamento superficial

O escoamento anual médio do domínio de estudo, com suporte ao mapa adaptado do SNIRH (2003) diversifica-se ao longo da bacia hidrográfica, obtendo valores entre 600 e 800mm em algumas zonas mais elevadas essencialmente a norte, e entre 300 e 400mm nas zonas de menor altitude sobretudo a sul (Figura 7).

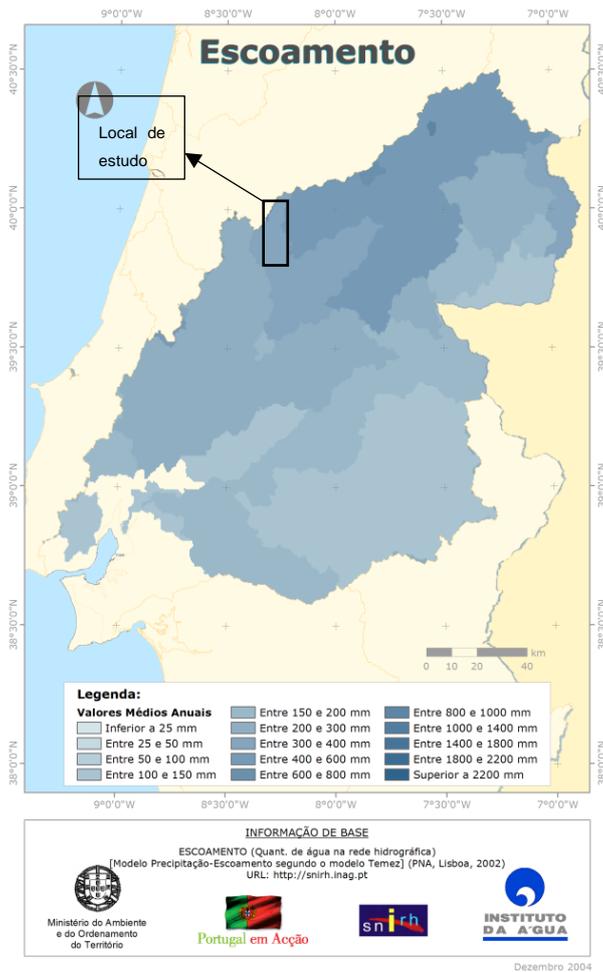


Figura 7- Escoamento superficial médio anual no domínio de estudo (adaptado de Atlas da Água, 2003).

2.3. Hidrográfico

A zona de estudo BhRA, sendo esta um pequeno afluente do Rio Zêzere. Segundo o Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (PGRHT, 2012) (APA, 2012), este domínio complementa-se na bacia hidrográfica do Rio Zêzere, em que este está inserido na bacia hidrográfica do Rio Tejo (Figura 8).

Conforme as informações dadas no PGRHT (2012), a bacia hidrográfica do Zêzere está localizada na margem direita da Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, sendo um dos principais afluentes do mesmo. A bacia hidrográfica do Zêzere está limitada a Norte pela bacia do Mondego e a Sul pelas bacias do Tejo e Lis, em que esta ocupa uma área de drenagem de 5029 km², com uma orientação preferencialmente NE-SW, muita parecida com a bacia do Mondego.

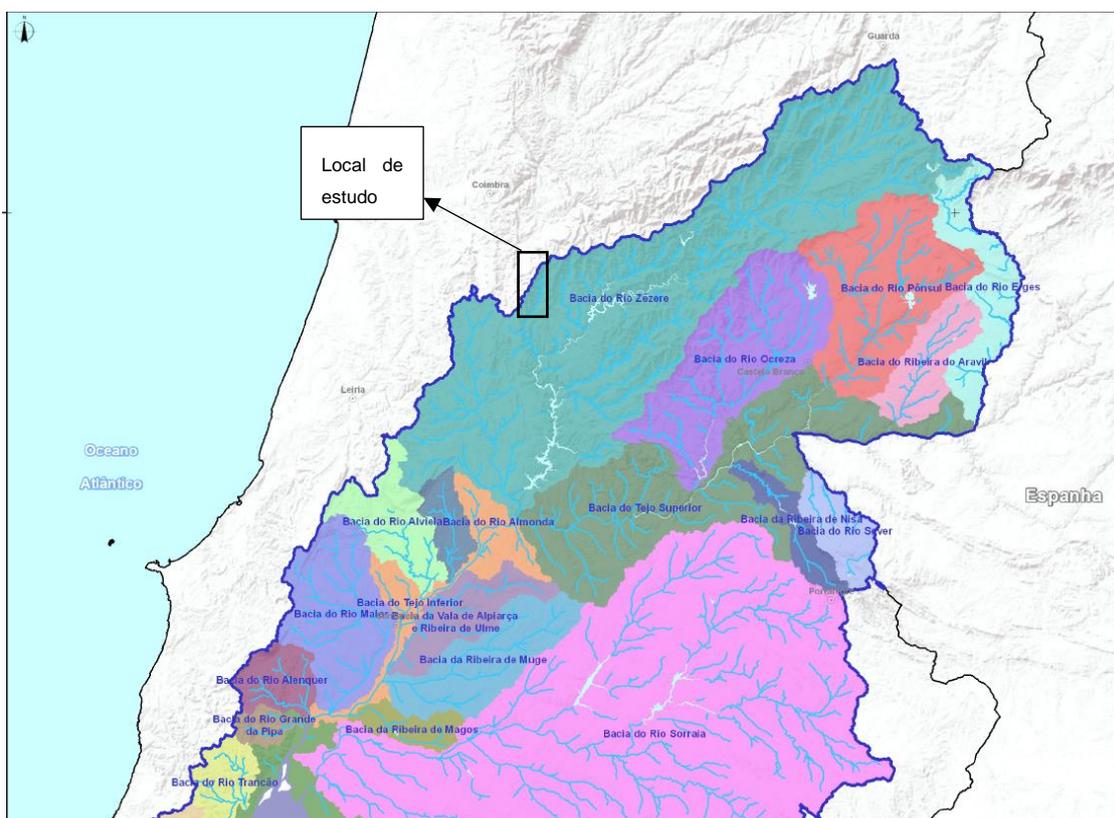


Figura 8- Localização da área de estudo na Bacia Hidrográfica do Tejo (adaptado PGRHT, repositório de mapas 2012).

De acordo com o Plano Diretor Municipal Figueiró dos Vinhos (PDMF, 2015), a principal linha de água da bacia do Zêzere é a Ribeira de Alge, que corre com uma orientação preferencial NNE-SSW. Esta ribeira nasce a N da freguesia de Campelo, na Serra da Lousã, acabando por desaguar em Foz de Alge, onde ao longo do seu percurso é alimentada por pequenas linhas de água. Na zona em estudo ressaltam a Ribeira do Caboleiro, a Ribeira de Salgueiro, a Ribeira do Boleo e a Ribeira de Vilas de Pedro.

2.4. Geológico

Do ponto de vista geológico, a zona em estudo está inserida maioritariamente na unidade geológico-tectónica do Maciço Antigo ou Hespérico. A parte restante insere-se na Orla Mesocenozóica Ocidental. Estando estas duas zonas divididas pela grande falha de cisalhamento Porto-Tomar.

O Maciço Hespérico é uma unidade geológico-tectónica composta substancialmente, por rochas eruptivas (granitoides) e metassedimentares (xistos e grauvaques), com idades do Pré-Câmbrico e do Paleozoico (Ferreira, 2000). O Maciço Antigo ou Hespérico encontra-se dividido em várias secções (Figura 9), devido às suas diferentes características geológicas, nomeadamente em: Zona Cantábrica (ZA), Zona Astúrica Ocidental Leonesa (ZAOL), Zona de Galiza Trás-os-Montes (ZGTM), Zona Centro Ibérica (ZCI) e Zona Ossa Morena (ZOM) (Ribeiro et al, 1979). A zona da bacia hidrográfica do Zêzere – onde se situa a zona em estudo – insere-se na Zona Centro Ibérica (ZCI) e na Zona Ossa Morena (ZOM).

A Zona Centro Ibérica (ZCI) contém uma Unidade geológica que ocupa uma enorme extensão representada de Supergrupo Dúrico-Beirão (anteriormente designado por Complexo Xisto-Grauváquico) (Ferreira, 2000), composta principalmente por xistos e grauvaques, podendo ocorrer outras litologias como: arenitos, conglomerados, calcários metamorfizados (PGRHT, 2012). Estas formações têm idades desde o Pré-Câmbrico Superior ao Câmbrico Inferior. Devido à ocorrência de várias dobras, frequentemente sinclinais, orientados NW-SE, a Unidade do Supergrupo contacta em discordância angular com espessas bancadas de quartzitos ordovícicos da Formação dos Quartzitos Armoricanos estando justapostos às sequências Xisto argilosos e grauvaques do Ordovícico e Silúrico, por vezes atingindo o Devónico (PGRHT, 2012). As rochas deste Supergrupo, que atinge uma grande extensão da ZCI, foram afetadas por metamorfismo de grau e tipo variado, desde o regional ao de contacto, estando este relacionado com as intrusões dos granitoides, originando corneanas pelíticas, filitos e xistos porfiroblásticos (PGRHT, 2012).

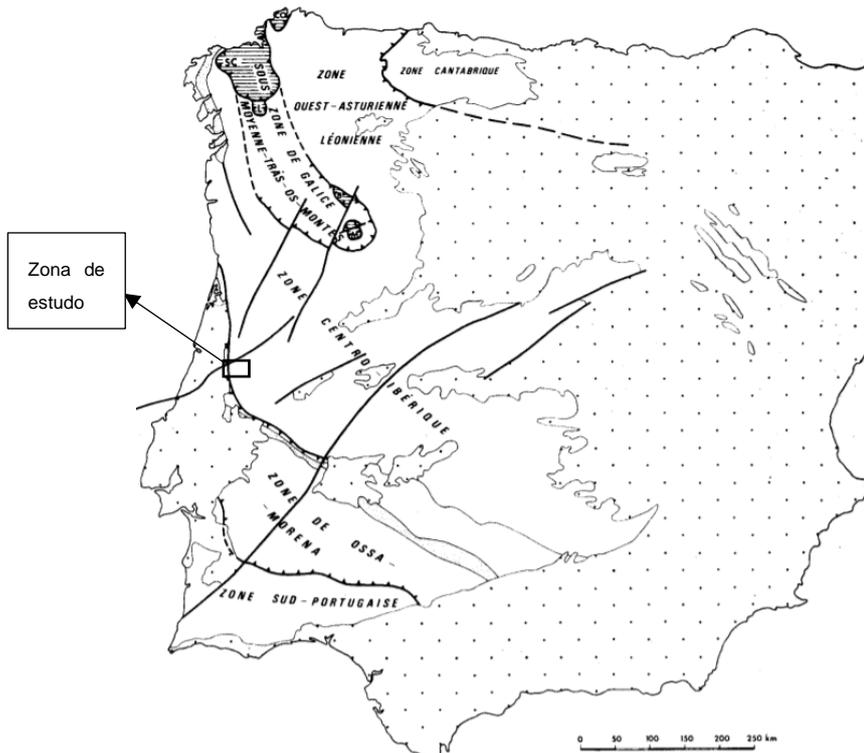


Figura 9- Localização da zona em estudo na carta das zonas paleogeográficas e tectônicas do Maciço Hespérico (adaptado de Ribeiro et al, Carta tectónica da Península Ibérica, 1979).

A Zona de Ossa Morena (ZOM) diferencia-se da Zona Centro Ibérica pela existência de maciços carbonatados associados a metassedimentos, pela ausência de materiais do Supergrupo Dúrico-Beirão, e também pela maior variabilidade de tipos de rocha, contendo rochas com idades variadas (PGRHT, 2012). As rochas mais antigas nesta série estratigráfica, são originadas no Pré-Câmbrico e apresentam um carácter polimetamórfico. Evoluem para uma sequência de natureza conglomerática que apresenta fácies de plataforma, inserida no Câmbrico inferior, seguida de uma sequência pelito-quartzítica bastante espessa. No Ordovícico verifica-se uma fácies pelítica de águas mais profundas, seguida de rochas vulcânicas básicas e ácidas em grande abundância, no Silúrico. Por fim desta série, no Devónico inferior a médio contém uma fácies de plataforma, onde esta se encontra em discordância com o flysch do Devónico superior, o que relata a primeira fase de deformação hercínica (Ribeiro et al, 1979).

A ZOM no setor Coimbra-Espinhal-Alvaiázere, em que está inserida a bacia hidrográfica do Zêzere, é constituída por uma faixa metamórfica com uma largura média inferior a 2 km. Contudo, nos locais mais a sul deste setor, esta excede os 10 km de largura. Nesta zona destacam-se os ortognaisses migmatíticos pertencentes ao Pré-Câmbrico superior, os micaxistos de cor cinza ou acastanhado do Neoproterozóico e os gnaisses tonalíticos do Mesoproterozóico (Chaminé et al, 2003).

Segundo o Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (2012), existem alguns corpos graníticos na região da bacia hidrográfica do Zêzere, designados de granitos hercínicos que apresentam estruturas em “*graben*” e “*horst*”. Estes granitos são monzoníticos, de grão grosseiro porfiroides, tardi-a pós-tectónicos e a granitos porfiroides sin-tectónicos, na qual os seus principais afloramentos se localizam nas zonas mais a Norte da bacia hidrográfica do Zêzere. Perto da Zona de Ossa Morena, mais precisamente na região de Figueiró dos Vinhos, Pedrógão Grande e Dornes encontram-se pequenos maciços graníticos ante-hercínicos sendo que estes são granitos de duas micas essencialmente (Almeida et al, 2000).

A maioria das formações da Orla Mesocenozóica Ocidental resultaram da deposição sedimentar em margem continental a partir do final do Pérmico, que resultou dos primeiros episódios de abertura do Oceano Atlântico Norte durante a fragmentação da Pangeia, originado num ambiente de distensão (Kulberg et al, 2000; Ribeiro et al, 1979) (Figura 10).

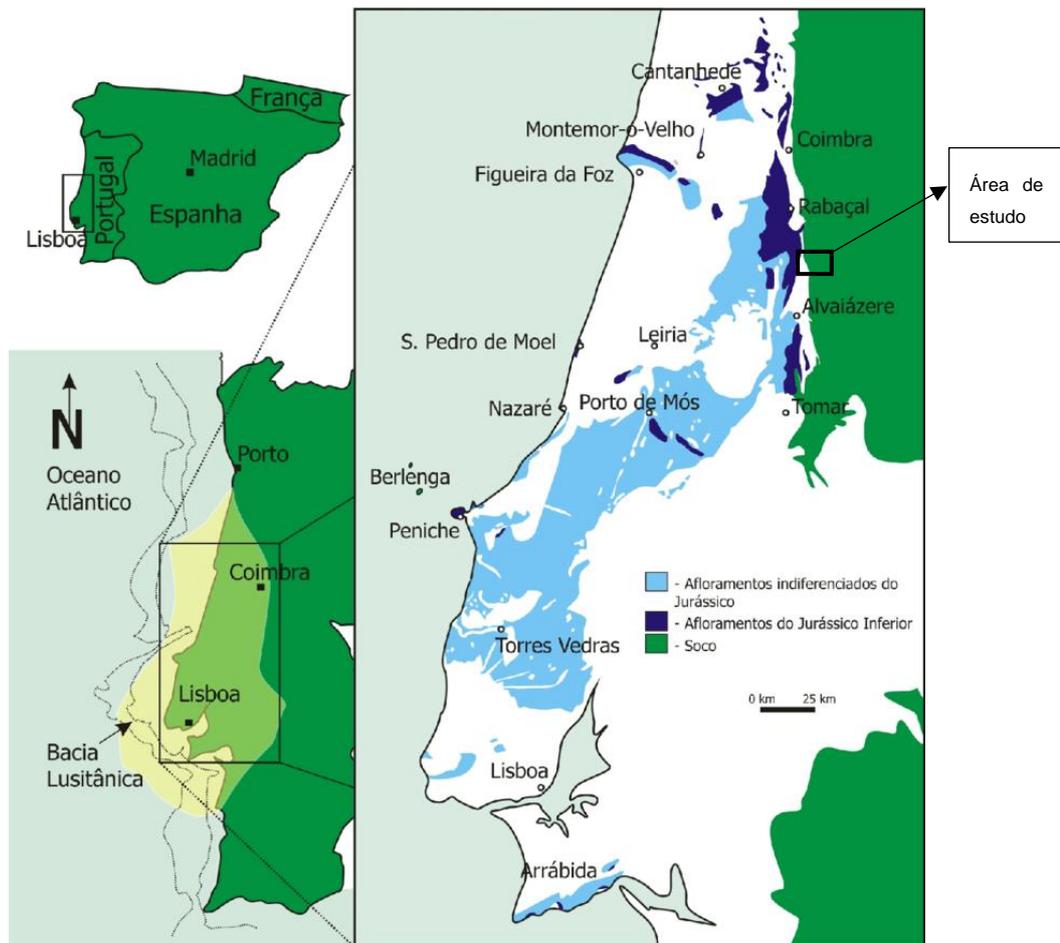


Figura 10- Mapa geológico simplificado da bacia lusitânica com referência aos afloramentos do Jurássico (adaptado de Duarte et al, *Geochemical evidences from the Lower Jurassic of Penichel*, 2010).

A Orla Mesocenozóica Ocidental contém litologias com idades que podem variar desde o Triásico até Cretácico superior. As rochas mais antigas são as formações do Grupo de Silves, constituídas por arenitos e conglomerados de cor avermelhada, e a Formação das Margas da Dagorda, composta por materiais pelíticos finos e por massas de gesso e sal-gema. No Jurássico inferior a médio encontram-se as rochas carbonatadas e margosas, como os calcários puros e calcários dolomíticos, a que a estes se sobrepõem as margas e os calcários margosos do Jurássico superior, todos estes relacionados com processos de transgressão e progradação marinha. No cretácico ocorrem depósitos detríticos, de origem continental, com intercalações de argilas e margas, em que estes assentam em discordância sobre as formações do Jurássico. Estas unidades mesozoicas por vezes estão cobertas por outras mais recentes de idades cenozóicas, sendo esta composta por aluviões e terraços antigos, com material pouco consolidado (PGRHT, 2012).

2.5. Tectónico-estrutural e Geomorfologia

2.5.1. Tectónico-estrutural

De uma forma geral todas as formações geológicas e unidades paleogeográficas, apresentam orientações estruturais bem definidas e com um grande controlo estrutural devido ao ambiente tectónico existente na Península Ibérica e, particularmente, em Portugal Continental.

Segundo Ribeiro *et al.* (1979) in PGRHT (2012), no Maciço Antigo desenrolaram-se dois grandes processos de fracturação e deformação. No primeiro a compressão máxima atingiu uma direção N-S aproximadamente, e no segundo a compressão máxima teve uma direção preferencial de E-W, em que movimentou maioritariamente o bordo ocidental do Maciço Hespérico. O episódio de fracturação com a direção de compressão N-S, gerou dois sistemas secundários de desligamentos conjugados, um de sistema esquerdo, que contém uma direção NNE-SSW a ENE-WSW, paralelo à grande cadeia Bética do Ciclo Alpino, e um de sistema direito, com uma direção de NNW-SSE a NW-SE de origem tardi-hercínica (Ribeiro *et al.*, 1979), sendo estes coincidentes com os principais lineamentos tectónicos (Falha Porto-Coimbra-Tomar).

Relativamente à Orla Ocidental, a atividade tectónica traduziu-se no rejogo pós-hercínico das fraturas tardi-hercínicas do soco (Ribeiro *et al.*, 1979). Assim sendo, os limites de cobertura da Orla Ocidental obtiveram uma deformação, com uma orientação preferencial N-S, em que deste resultaram três sistemas de falhas conjugadas, com direções NNE-SSW conforme principalmente os alinhamentos do tipo diapírico, ENE-WSW paralelo aos acidentes de direção Bética, e um terceiro com orientação NW-SE (Ribeiro *et al.*, 1979; PGRHT, 2012).

Relativamente à atividade tectónica mais recente – **Neotectónica**, Cabral *et al.* (1989), afirmam que esta se acentuou durante o final do Neogénico até ao Quaternário, o que levou a reativar alguns sistemas de falhas, gerando no território português inúmeros levantamentos, com diferentes intensidades, afetando mais as zonas Norte e Centro do país

A alteração da geomorfologia a nível vertical no litoral de Portugal, verifica-se essencialmente pela presença de plataformas de abrasão marinha e de sedimentos plio-quaternários elevados. Pelo contrário no interior observa-se através das formas robustas dos vales e pela presença de superfícies de erosão bem preservadas que indicam a ascensão do terreno, no qual resulta o encaixe da rede de drenagem bem recente (Cabral *et al.*, 1989).

Cabral *et al*, (1989) indicam que estes movimentos de elevação pós-pleiocénico tiveram mais impacto no Norte e Centro do país. Assim nestas zonas a orografia apresenta elevações com mais de 400 m, sendo que no Sul não ultrapassam este valor, geralmente, atingindo os 100 a 200 m. Contudo o levantamento em maior escala ocorreu na região central, em que se originou uma cadeia montanhosa intracontinental com uma cota máxima de aproximadamente 2000 m orientada segundo ENE-WSW.

2.5.2. Geomorfologia

A bacia hidrográfica do Zêzere ao estar inserida em duas Unidades morfoestruturais, apresentando características de relevo diferentes nos dois setores. No setor do Maciço Hespérico, a geomorfologia evolui ao longo da bacia, percorrendo um vale de abatimento, bem alongado, formado pelo “*horst*” da Cordilheira Central (Rebelo *et al*, 1992).

Assim, na zona mais a montante da bacia verificam-se relevos mais acentuados, onde se alcançam as altitudes mais elevadas, originando-se relevos vigorosos de vertentes abruptas. Conforme se vai descendo ao longo da bacia, observam-se zonas de amplas depressões, por vezes preenchidas por rochas detríticas terciárias. Ao entrar-se nas formações xistosas, devido a estas ao terem propriedades mais impermeáveis, geram uma rede de drenagem mais densa com interflúvios dissecados devido à erosão, originando vales bem encaixados e transversais nesta zona (PGRHT, 2012).

Segundo o Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (2012), na Bacia Lusitânica a morfologia vai ficando mais aplanada à medida que se aproxima da zona costeira, no entanto varia conforme a mobilidade tectónica, devido a esta apresentar bastantes litologias diferentes. Nas zonas carbonatadas estas desenvolvem depressões fechadas, com vertentes bastante íngremes, devido à dissolução dos calcários, face aos agentes erosivos, tornando assim o fundo dos vales bastante aplanados, em virtude de as águas se infiltrarem nas rochas calcárias, circulando no interior destas por causa da sua capacidade de infiltração (Rebelo *et al*, 1992).

2.6. Hidrogeológico

Hidrologicamente, a bacia hidrográfica do Zêzere encontra-se nos domínios das Unidades hidrogeológicas do Maciço Antigo e da Orla Ocidental, sendo que se localiza, maioritariamente, na Unidade do Maciço Antigo. Esta unidade está menos estudada a nível hidrogeológico do que a Unidade da Orla Ocidental, referindo que esta se verifica mais estudada do ponto de vista hidrogeológico.

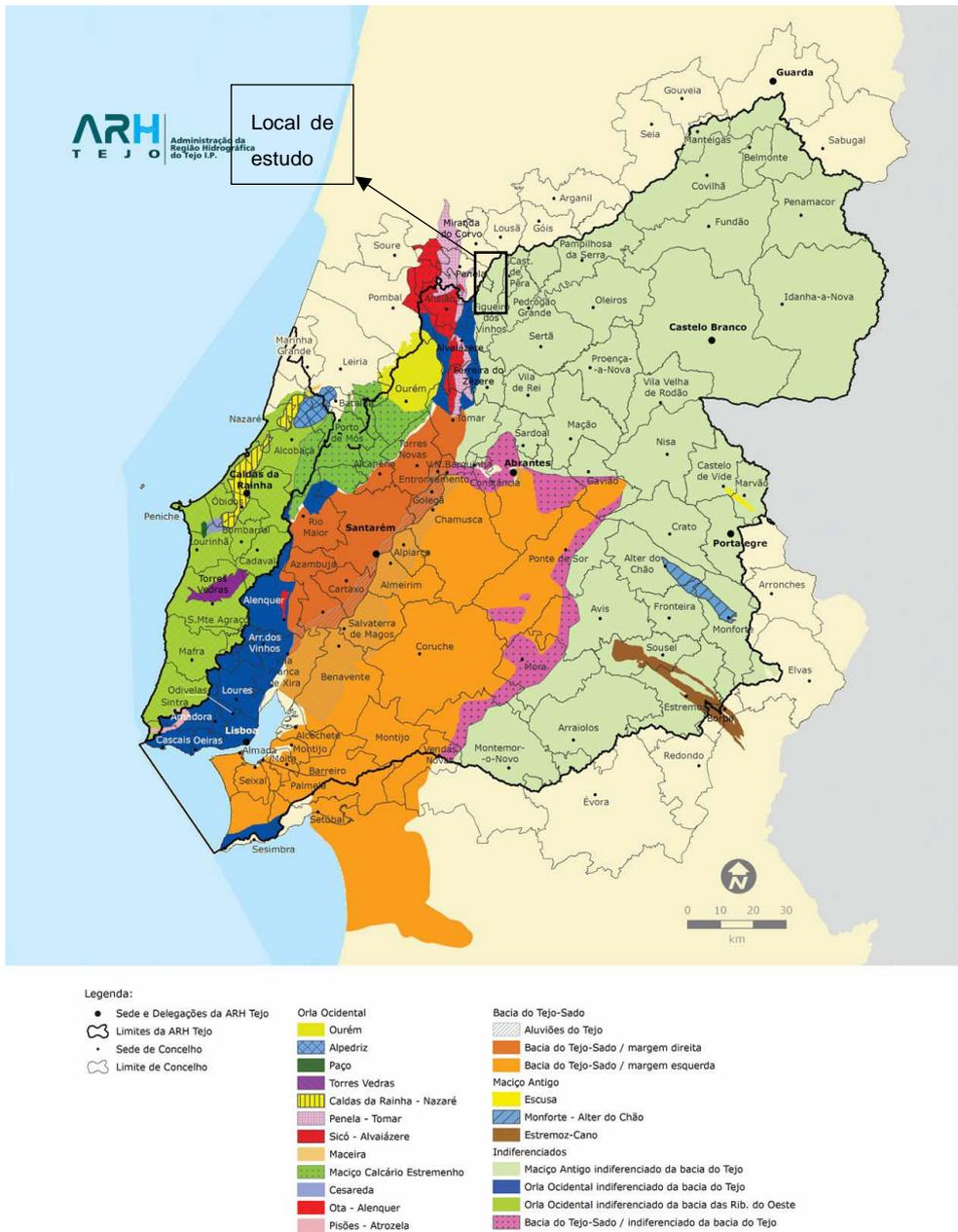


Figura 11- Unidades Hidrogeológicas da Bacia Hidrográfica do Tejo-Sado (adaptado de ARH Tejo, Os aquíferos das bacias hidrográficas do Rio Tejo e das Ribeiras do Oeste, 2009).

Na região inserida na Unidade do Maciço Hespérico, dado a predominância de rochas como os granitos e xistos, devido a apresentarem um carácter maioritariamente impermeável, constata-se uma maior movimentação das águas nas zonas superficiais. A presença de águas subterrâneas está condicionada pela espessura de alteração supergénica das camadas e pelas fraturas. Assim o nível freático é rigoroso à topografia, na maioria das vezes, ocorrem os quartzitos do Ordovícico, contendo uma intensa rede de fracturação. Assim, apesar de não possuírem camadas de alteração, devido aos seus minerais serem mais estáveis à presença de água, constituem excelentes aquíferos.

Nestas formações quartzíticas a recarga dá-se através da infiltração direta das águas da chuva, no entanto estas massas de água podem receber água por escoamento lateral subterrâneo vinda de outras massas de água subterrâneas adjacentes (PGRHT, 2012). O fluxo da água decorre através de descontinuidades e fraturas, e está regularmente associado a nascentes com caudais razoáveis, com boa qualidade. Nas formações graníticas e xistentas, a circulação da água faz-se pela rede de fraturas e superfícies de diaclasamento dos granitos e pelos planos de xistosidade de metassedimentos como grauvaques, daí estas serem menos produtivas, e assim se necessitar de explorar estes fatores para obtenção de água subterrânea (Almeida et al, 2000).

Um dos principais fatores que também influencia a infiltração da água é a geomorfologia local. Na bacia hidrográfica do Zêzere, devido a estar implantada numa região bastante montanhosa, com vertentes bem acentuadas, a infiltração é reduzida, e ocorre um maior escoamento superficial (PGRHT, 2012).

De acordo com o Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (2012), os processos de descarga nesta Unidade podem ocorrer em locais onde o nível freático está muito próximo da superfície, como por evapotranspiração, e também por escoamento subterrâneo lateral.

Segundo o Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (2012), a bacia hidrográfica do Zêzere é ocupada por cerca de dois terços pelo Sistema de aquíferos do Maciço Antigo indiferenciado da bacia do Tejo. Todavia, no setor terminal da bacia hidrográfica do Zêzere abrange o seguinte conjunto de Sistemas aquíferos: Sistema aquífero de Penela – Tomar (O9), Sistema aquífero de Sicó – Alvaiázere (O11), Sistema aquífero de Ourém (O15), Sistema aquífero do Maciço Calcário Estremenho (O20), e ainda uma pequena porção do Sistema aquífero da bacia do Tejo-Sado/ margem direita (T1). Incluindo também o domínio da Orla-Occidental indiferenciado da bacia do Tejo, na zona mais a jusante da bacia do Zêzere.

Os meios aquíferos predominantes nesta zona são do tipo cársico, derivado dos sistemas O9 (fissurado), O11 e O20, e do tipo poroso, no caso do O15 (multicamada) e T1.

Os domínios da bacia hidrográfica do Zêzere inseridos na Unidade hidrogeológica da Orla Occidental, apresentam características hidrogeológicas bastante diferentes das dos domínios inseridos na Unidade hidrogeológica do Maciço Antigo. Neste setor ocorrem maiores recursos hidrogeológicos, dado que as rochas sedimentares contêm maiores aptidões para armazenar e transmitir massas de água subterrânea. Os principais tipos de aquíferos que esta bacia intersesta são de natureza cársica e porosa, como mencionado anteriormente. Os aquíferos cársicos são compostos principalmente por dolomitos, calcários, calcários dolomíticos e por vezes com intercalações de margas. Nos locais de contacto com formações menos permeáveis, ocorrem exurgências com caudais elevados. Os aquíferos porosos nesta região são constituídos por arenitos de grão fino e médio, e conglomerados de matriz argilosa, em que estes são maioritariamente multicamada, essencialmente confinado, contendo desta forma maiores qualidades hidrogeológicas (Almeida *et al*, 2000).

3. Enquadramento local

A zona estudada nesta dissertação insere-se na bacia hidrográfica da ribeira de Alge, cuja área plana tem cerca de 146 km² e está representada nas Cartas Militares Topográficas, à escala 1:25000, Folhas nº 252-Lousã, nº 263-espinal (Penela), nº 264-Castanheira de Pera, nº 275-Ansião, nº 276-Figueiró dos Vinhos e nº 288-Cernache do Bom Jardim.

Tendo em conta o objetivo principal desta dissertação, e devido à grande extensão da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge a zona em estudo corresponde aproximadamente ao setor intermédio e recuado da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge, isto é, os domínios a montante da ETA de Ribeira de Alge (Figura 12). Este domínio será seguidamente designado por BhRA com uma área plana de 96 km².

Neste capítulo serão abordados e apresentados os enquadramentos ao nível topográfico, hidrográfico, geológico, tectónico-estrutural e geomorfológico, e de uso e ocupação do solo.

3.1. Topográfico

A área estudada – BhRA – apresenta uma orientação geral segundo NNE-SSW. Encontra-se limitada pelo *Horst* da Serra da Lousã, local onde se verificam altitudes mais elevadas próximo dos 1100m. À medida que se avança para S, a altitude vai diminuindo e encontra-se a Serra de S. Neutel com uma altitude máxima de 550m, que separa o conselho de Figueiró dos Vinhos com a Ribeira de Alge a Este da mesma, na qual opostamente observa-se a Serra da Aguda a Oeste. Por fim, desagua em Foz de Alge, local onde as altitudes mínimas andam em torno dos 130m.

Através do modelo digital de terreno – MDT - gerado no software ArcGis® 10.6, obteve-se um mapa (Figura 12) onde é possível reconhecer as oscilações do terreno no decorrer da bacia, nomeadamente:

- a) Ocorrência de uma grande variação da altimetria conforme se prossegue para S.
- b) O terreno é bastante acidentado, atingindo altitudes acima dos 1000m no setor Norte da bacia, e a Sul apenas alcançam altitudes de cerca de 150m.

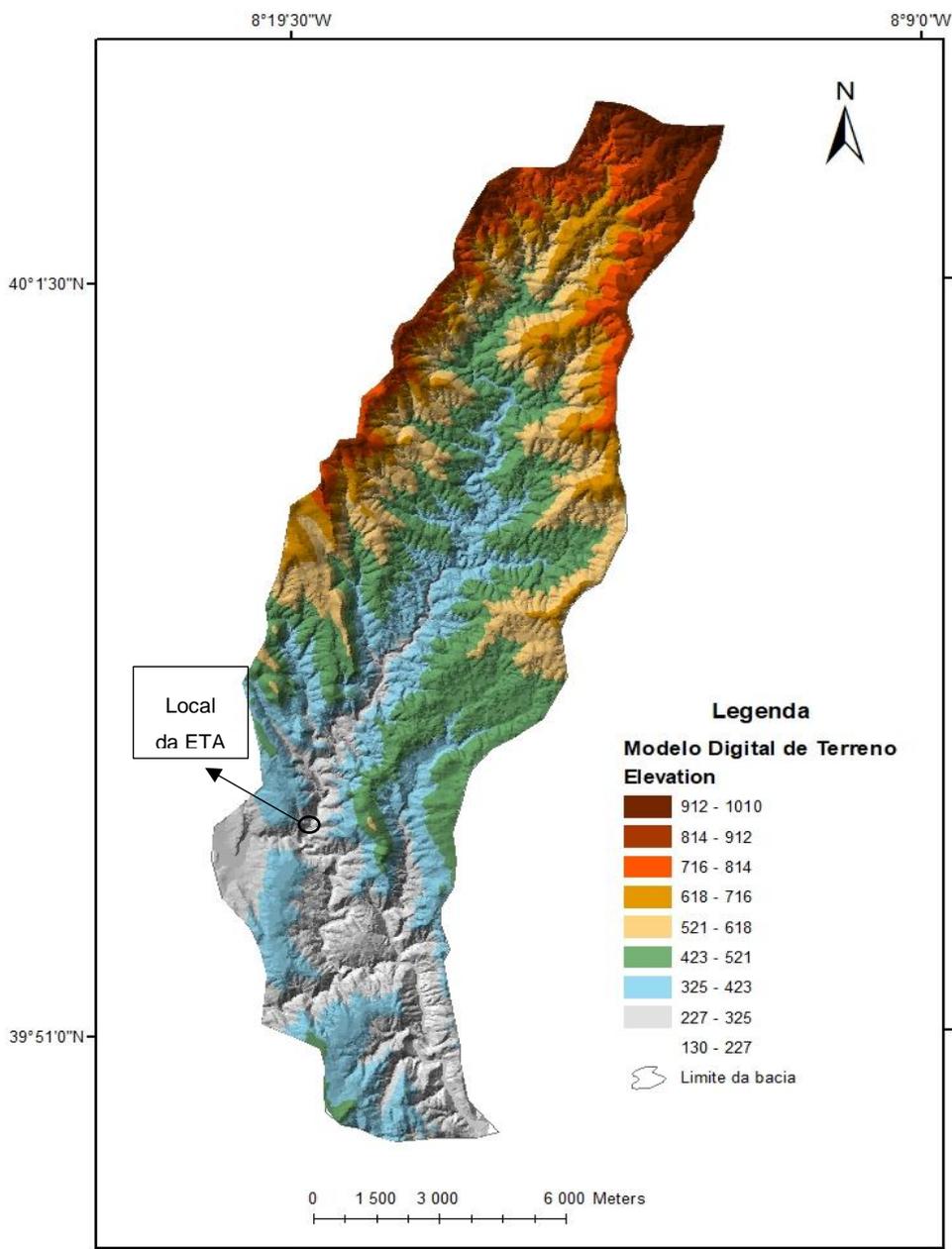


Figura 12- Enquadramento da zona em estudo no mapa com o modelo digital de terreno da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge (imagem gerada através do software ArcGis® 10.6, com base nos dados altimétricos e Cartas topográficas da zona).

A estação de captação e tratamento de águas (ETA) de Ribeira de Alge, está localizada na aldeia de Ribeira de Alge, a qual esta está inserida na freguesia de Aguda fixada a N da mesma, e situando-se a W no conselho de Figueiró dos Vinhos a cerca de 3 Km. As cotas no local da ETA variam entre os 200 e 300m (Figura 13).

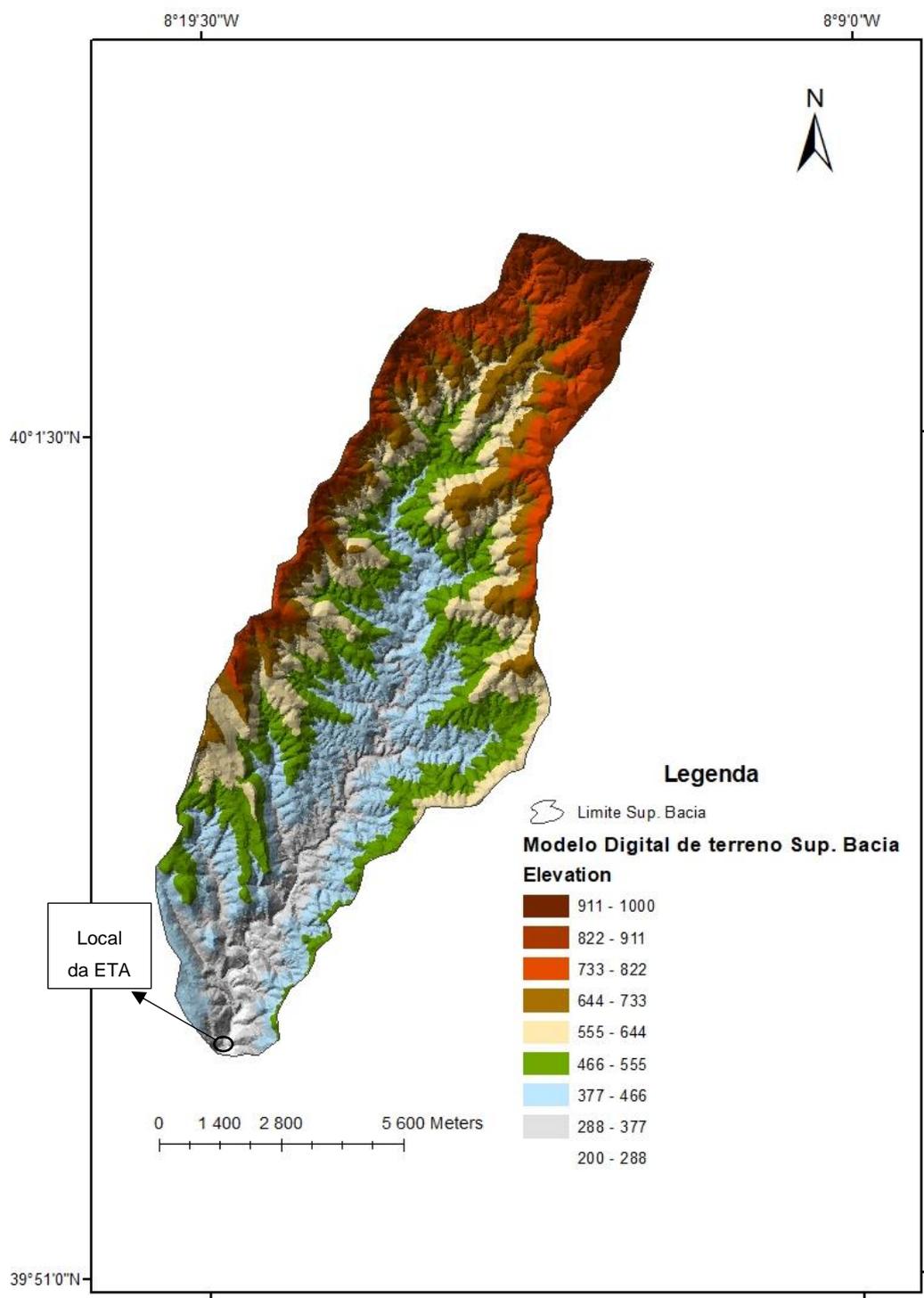


Figura 13- Mapa com o modelo digital do terreno do setor da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge situado a montante da ETA da Ribeira de Alge (imagem gerada através do software ArcGis® 10.6, com base nos dados altimétricos e Cartas topográficas da zona).

3.2. Hidrográfico

A Ribeira de Alge juntamente com a Ribeira de Pera, são os principais afluentes da margem direita do Rio Zêzere.

A bacia hidrográfica da Ribeira de Alge (Figura 14) apresenta uma forma alongada segundo a direção NNE-SSW. Nos setores intermédio e superior da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge (Figura 15), denota-se uma predominância de direção NE-SW nas linhas de água. Contudo no setor final da bacia, sobretudo após a ETA da Ribeira de Alge, a direção altera-se essencialmente para NW-SE.

No setor Norte da bacia, nomeadamente na zona em análise (domínios a montante da ETA de Ribeira de Alge) destacam-se as Ribeira de Porto Espinho e do Sobral Chão. Ao passo que se avança para Sul, esta é implementada por outras ribeiras proporcionando uma grande extensão da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge, no entanto os principais tributários que mais contribuem na alimentação da bacia são a Ribeira Pequena e a Ribeira da Várzea, porém estas ribeiras localizam-se após a captação da Ribeira de Alge, logo não fornecem maiores caudais de água para a captação.

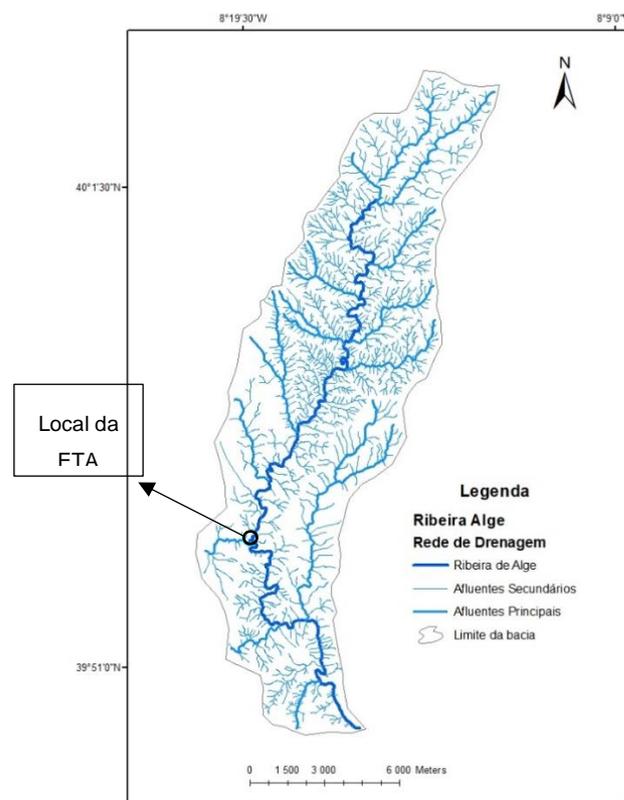


Figura 14- Rede de drenagem da Bacia Hidrográfica de Ribeira de Alge (imagem gerada no software ArcGIS® 10.6 através das cartas militares 1:25000 da zona em estudo).

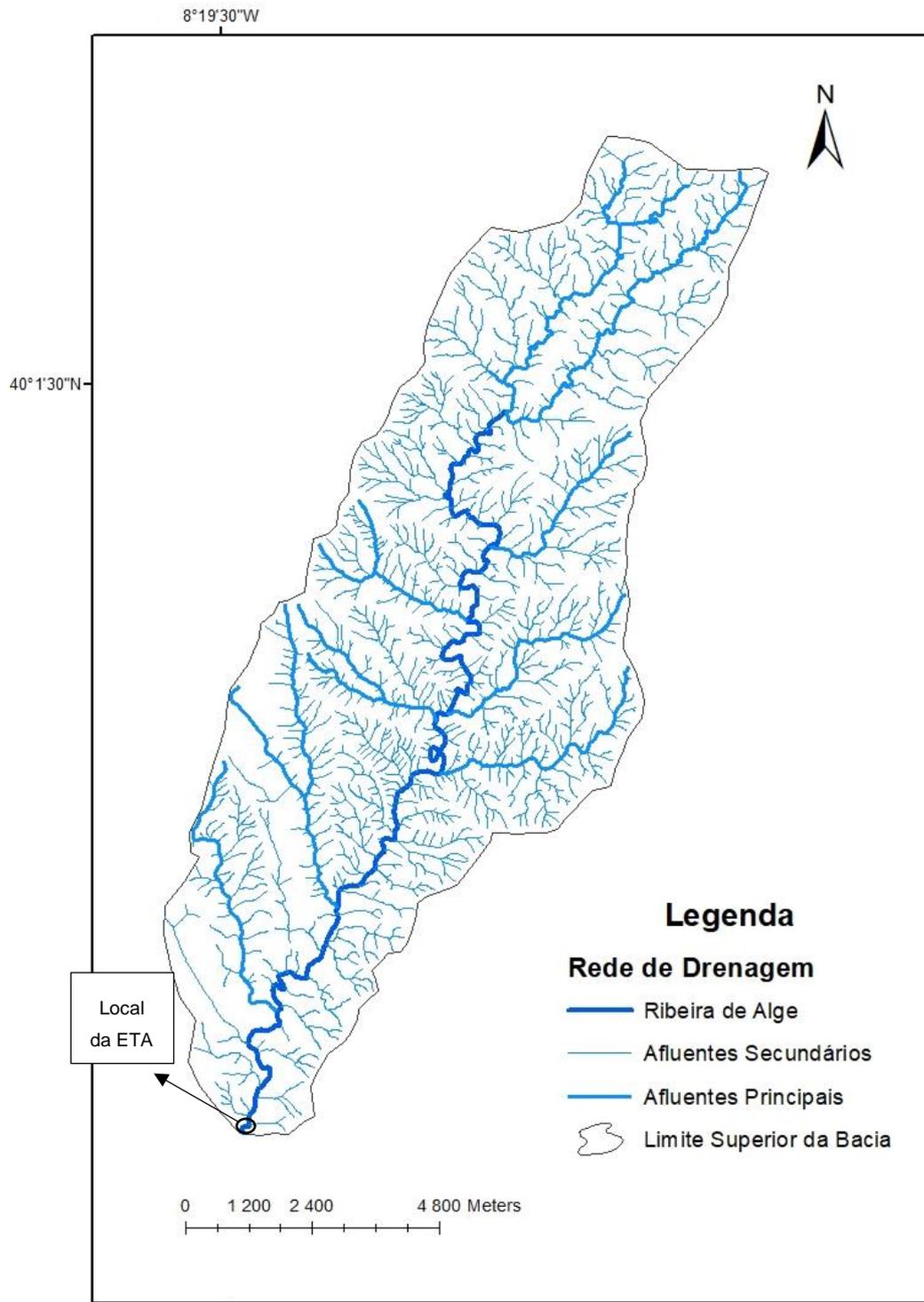


Figura 15- Rede de drenagem do setor Norte da Bacia Hidrográfica de Ribeira de Alge relativamente à ETA de Ribeira de Alge (imagem gerada no software ArcGis® 10.6 através das cartas militares 1:25000 da zona em estudo).

Na região mais a montante da bacia, a rede de drenagem da Ribeira de Alge incide numa zona bastante montanhosa, tendo a sua génese no *horst* da Serra da Lousã, como mencionado anteriormente. Nesta região a topografia revela vales fechados com cotas bastante elevadas devido a se encontrar numa zona xistosa, favorecendo o escoamento superficial, consumando a que as linhas de água contenham um maior rendimento no decorrer dos vales. Ao passo que a bacia evolui para jusante a ribeira vai adquirindo um maior caudal, a altimetria vai diminuindo bastante, e dessa forma tornando as linhas de água algo mais homogêneas em relação a montante, porém neste último efeito não se evidêcia uma grande alteração, apenas ser importante reconhecê-lo.

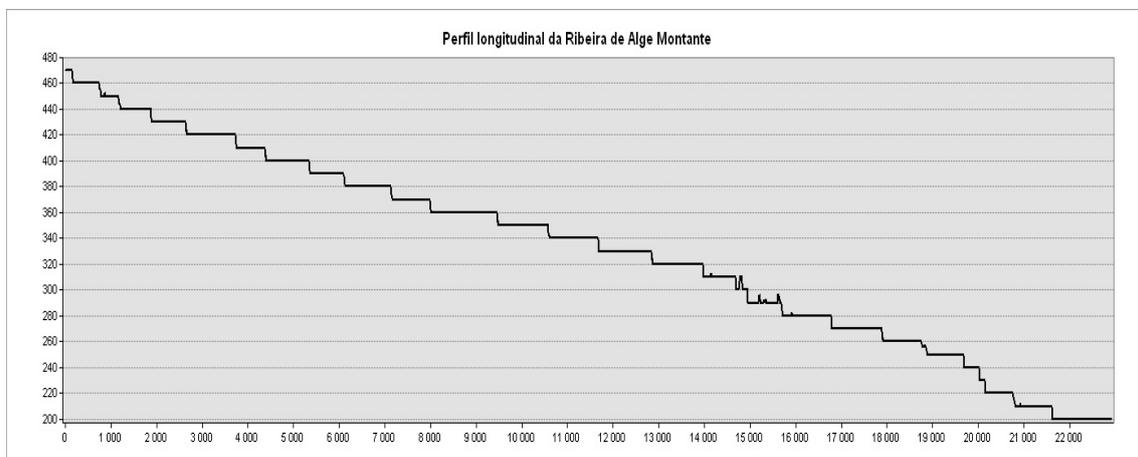


Figura 16- Perfil longitudinal dos setores intermédio e superior da bacia hidrográfica de Ribeira de Alge, compreendido entre a ETA e a Serra da Lousã (perfil gerado em software ArcGis® 10.6).

Na BhRA a rede de drenagem superficial exhibe inúmeros cursos de água, todavia estes presenciam-se em maior quantidade na margem direita da bacia, tendo cursos de água mais desenvolvidos e bem demarcados, sendo a bacia classificada como bacia endorreica, por efeito do padrão de drenagem se efetuar para o interior da bacia.

Relativamente ao regime de escoamento superficial esta ribeira tem um regime perene, embora com importantes variações sazonais. Pelo contrário, alguns dos seus afluentes têm regime intermitente, podendo por vezes secar no Verão ou conter caudais reduzidos.

Caracterização morfométrica da Bacia

Neste ponto serão determinados alguns parâmetros morfométricos do setor em estudo da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge, com suporte aos recursos recolhidos das cartas militares, ajudando na criação do modelo digital de terreno e do modelo da rede de drenagem, a partir do software ArcGis[®]10.6 (Tabela 1).

Tabela 1- Parâmetros morfométricos permanentes da bacia hidrográfica de Ribeira de Alge (adaptado de Azevedo, 2019).

Parâmetros	Valor
Área Plana Total (km ²)	96
Perímetro (km)	50,3
Comprimento total das linhas de água (m)	468177
Comprimento da maior linha de água (m)	37378
Cota máxima (m)	1000
Cota mínima (m)	200
Altitude média (m)	600
Coefficiente de Compacidade (K _c)	1,439
Fator Forma (K _f)	0,069
Coefficiente de Alongamento (K _a)	0,168
Coefficiente de Homogeneidade (K _h)	0,199
Densidade de Drenagem (D _d)	4,88
Percurso médio de escoamento (P _{med})	0,051

Com fundamento nos dados obtidos pode-se afirmar que:

- segundo o coeficiente de compacidade (K_c) e o fator forma (K_f) a bacia é considerada alongada (ou pouco circular);
- com base no valor obtido no coeficiente de alongamento (K_a) pode-se considerar que a bacia contém um relevo bastante acentuado;
- de acordo com os valores dos parâmetros densidade de drenagem (D_d) e percurso médio de escoamento (P_{med}) a bacia hidrográfica é bem drenada e com uma rede de drenagem bem desenvolvida.

Balanço hídrico

Com propósito de realizar uma caracterização mais pormenorizada dos recursos hídricos na região de Ribeira de Alge, foi efetuado o balanço hídrico da região, com base nos dados climatológicos apresentados em PGRHT (2012), SNIRH (2003), e EAFV (2015).

O balanço hídrico na região permite avaliar as disponibilidades hídricas locais e compreender a evolução das recargas aquíferas, e dos recursos subterrâneos.

Os valores apresentados na Tabela 2 correspondem aos valores médios (média entre isolinhas sucessivas) representados para cada parâmetro. O valor dos *inputs hídricos global e parciais* foi calculado para o domínio estudado da bacia hidrográfica de Ribeira de Alge, cuja área plana é equivalente a 96 km².

Tabela 2- Balanço hídrico para o setor situado a montante da ETA da Bacia hidrográfica Ribeira de Alge

Parâmetro	Valor médio anual
Precipitação atmosférica (mm)*	1300
ETR (mm)**	650
Excedente hídrico (mm)	650
Escoamento superficial (mm)**	500
Infiltração (mm)	150
Área plana da bacia (km ²)	96
<i>Input hídrico total</i> (m ³)	124 800 000
Escoamento superficial (m ³)	48 000 000
Infiltração (m ³)	14 400 000

(*) Valores apresentados em Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (2012);

(**) Atlas da Água (SNIRH, 2003);

Os valores obtidos para a infiltração média anual (150 mm e 14 400 000 m³) são relativamente baixos e resultam da reduzida permeabilidade dos solos xistentos. No entanto, nos domínios ocupados por depósitos aluvionares e nas zonas de afloramento dos quartzitos e de maior fraturação, esperam-se valores de infiltração superior, devido ao escoamento superficial ser mais reduzido.

3.3. Geológico

Em virtude de a carta geológica 23-B, enquadrante do domínio em estudo – setor intermédio e montante da bacia hidrográfica da Rib^a de Alge (BhRA) - ainda não ter sido editada, a elaboração deste capítulo foi realizada fundamentalmente com base no: (1) excelente trabalho de tese de doutoramento de Gama Pereira (1987) intitulada “Tipologia e evolução da sutura entre a ZCI e a ZOM no setor entre Alvaiázere e Figueiró dos Vinhos”; (2) na Carta geológica adjacente, N^o 19-D à escala 1:50.000 – Coimbra – Lousã, e respetiva notícia explicativa e (3) em observações em campo.

Nas Figuras 17 e 18 apresentam-se mapas com a geologia e tectónica da BhRA baseados na Carta geológica de Gama Pereira (1987) e gerado em ArcGis[®] 10.6. O setor N na Figura 16 foi desenvolvido com base na Carta geológica 1:50.000, Coimbra – Lousã, e da Carta geológica 1:500.000 de Portugal Continental, por motivo de não estar representado este setor na Carta geológica de Gama Pereira (1987).

De acordo com Gama Pereira (1987) a geologia nesta zona a montante da captação da Ribeira de Alge é pouco diversificada, contendo rochas bastante antigas com idades compreendidas entre o Pré-Câmbrico ao final do Paleozoico, e rochas mais recentes do Cenozoico. A nomenclatura utilizada neste trabalho é a utilizada por Gama Pereira (1987), e nas Cartas Geológicas 1:50.000 adjacentes ao local estudado.

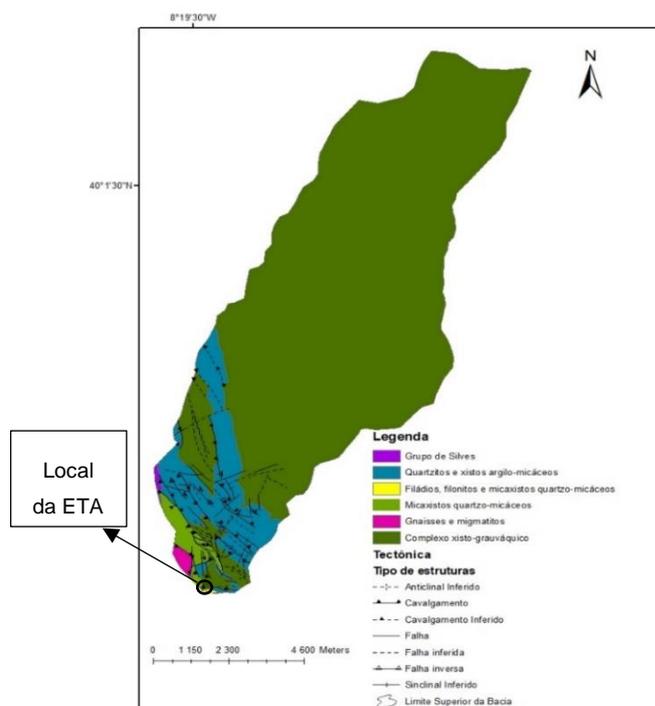


Figura 17- Enquadramento geológico e estrutural dos domínios presentes na Bacia hidrográfica da Rib^a de Alge. (fragmento da Carta geológica e tectónica de Gama Pereira, 1987; mapa gerado através de Software ArcGis[®] 10.6).

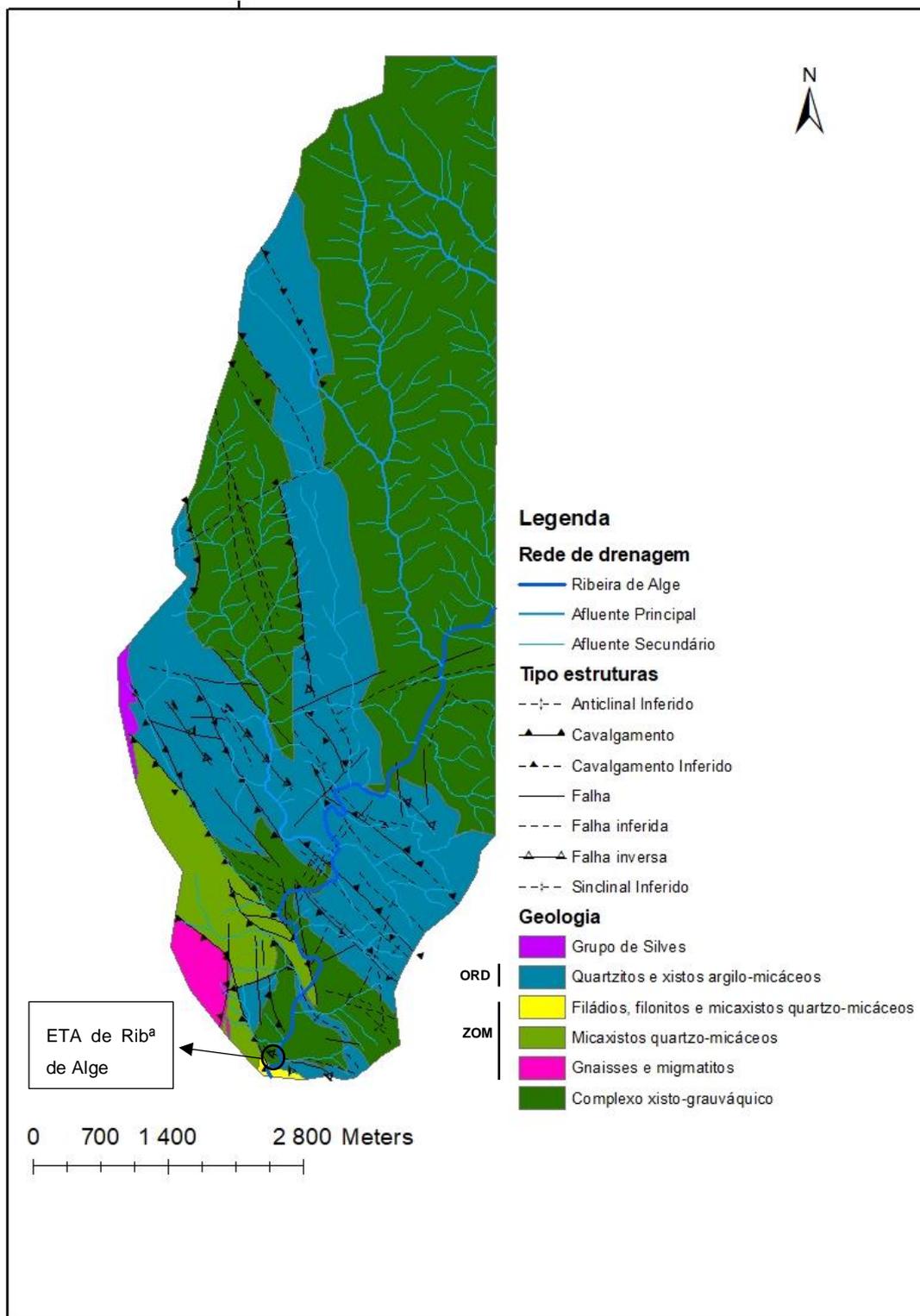


Figura 18- Enquadramento geológico e estrutural com rede de drenagem dos domínios locais da ETA da Ribª de Alge (fragmento da Carta geológica e tectónica de Gama Pereira, 1987).

No setor em estudo - BhRA – ocorre a seguinte sequência estratigráfica (do mais recente para o mais antigo):

Mesozoico - Triássico

Grupo de Silves – As formações geológicas intergrantes deste grupo apresentam, segundo os diversos autores, organização e nomenclatura diversas. Nos estudos mais recentes (por exemplo Kullberg, 2013; Soares *et al*, 2010) este grupo é composto por 4 unidades: Formação de Pereiros, Formação de Castelo de Viegas, Formação de Penela e Formação de Conraria.

Na zona de estudo segundo o autor Kullberg (2013), identificam-se todas as Formações. Contudo destacando-se as Formações da Conraria e de Pereiros.

Estas Formações, assim como todo o Grupo de Silves é composto por materiais detríticos de natureza siliciclástica, da erosão de terrenos situados a E e da evolução dos ambientes fluviais e aluviais. Estão assentes em discordância sobre as Formações do Pré-Câmbrico e do Paleozoico.

Formação da Conraria (Kullberg, 2013) – Caracterizada na divisão inferior por apresentar arenitos, arcoses e subarcoses, conglomeráticas, muito grosseiras de cor avermelhada, com cimentação ferrosa. Na parte superior é formada por areno-pelitos e pelitos avermelhados ou cinzentos, ocasionalmente são finas e/ou onduladas, com bioturbação, contendo assim intercalações carbonatadas.

Formação de Pereiros (Kullberg, 2013) – Formação superior do Grupo de Silves; é constituída da base para o topo por: arcosenitos muito grosseiros, dolomitos arenosos, e brechas com segmentos de crosta dolomítica. Estas subunidades variam de cor à medida que se avança para o topo, com cores esbranquiçadas a acastanhadas, com intercalações de quartzo na base, passando para tons mais amarelados na zona intermédia, e por fim apresentando uma cor cinzenta nos arcosenitos.

Paleozoico

Silúrico e Ordovícico

Quartzitos e xistos argilo-micáceos do Sinclínório de Dornes-Espinhhal - Unidade geológica que abrange idades que divergem desde o Ordovícico ao Silúrico, englobando rochas como os quartzitos essencialmente, e ainda ocasionalmente alguns xistos, por vezes fossilíferos. Conforme exposto previamente, esta unidade assenta em discordância angular sobre o complexo xisto-grauváquico. Estas formações apresentam-se em sinclínório composto por quatro estruturas predominantes: sinclinal das Ferrarias de S. João, o anticlinal da Lomba da Casa, o sinclinal de S. Simão e por fim o anticlinal de S. Neutel; todos sendo resultado de um dobramento em escadaria, condicionada por deformações cisalhantes, com orientação N10W, semelhante à falha Porto-Coimbra-Tomar.

Pré-Câmbrico

Gnaisses, micaxistos quartzo-micáceos, filádios, filonitos e metagrauvaques da Antiforma da Arega - Caracteriza-se por ser uma unidade onde as rochas predominantes são os gnaisses, micaxistos, filádios, filonitos e quartzitos negros, etc. Apesar disso evidenciam-se bastante os gnaisses tonalíticos na zona de Aguda, sendo estes de grão médio a grosseiro, contendo uma textura granular. Observa-se também alguns micaxistos encaixados nos gnaisses, a norte da região de Maças de D. Maria, bastante alterados, com direções equivalentes às estruturas de maior dimensão.

Complexo Xisto-Grauáquico (Grupo das Beiras) - Esta Formação ocupa uma grande extensão do norte e centro, do território português, prolongando-se para Espanha. A Formação sofreu vários tipos de metamorfismo tais como metamorfismo regional expresso nos filitos e metagrauvaques observados, bem como metamorfismo de contacto por ação de intrusões de granitoides, assim como processos de migmatização, etc. Como citado anteriormente, esta formação é constituída por xistos e grauvaques de fácies do tipo *flysch*, porém no setor de Figueiró dos Vinhos as fácies podem ser areno-lutíticas ou lutítico-arenosas. Estas fácies são constituídas por arenitos impuros ou “wackes” de grão fino a médio, com textura clástica, estes sendo caracterizados por serem de metamorfismo de baixo grau, dando origem a siltitos e xistos. Já os filitos por vezes observados, derivam dos siltitos e argilitos por ações de metamorfismo regional da zona, como referenciado precedentemente.

Para além destas rochas e estruturas geológicas acima descritas, ocorrem na BhRA depósitos sedimentares recentes, nomeadamente depósitos aluvionares e depósitos de escorrência e colapso, ocorrendo ambos nas margens das principais linhas de água e no sopé de taludes mais declivosos. Os depósitos aluvionares são compostos por areias grosseiras e cascalheiras, com raras intercalações argilosas. Os depósitos de escorrência e colapso, de forma geral, são constituídos por fragmentos de quartzo e quartzito anguloso e subanguloso de pequenas dimensões, com uma matriz areno-argilosa, por vezes ocorrendo pequenos fragmentos de rochas como os xistos e grauvaques, devido a estar também inserido numa zona onde predominam este tipo de rochas.

Na zona em estudo destacam-se a presença de 3 depósitos aluvionares com mais expressão, cuja localização está representada na Figura 19.



Figura 19- Localização dos principais depósitos aluvionares situados nas imediações da ETA da Ribª de Alae (em imagem do Google Earth).

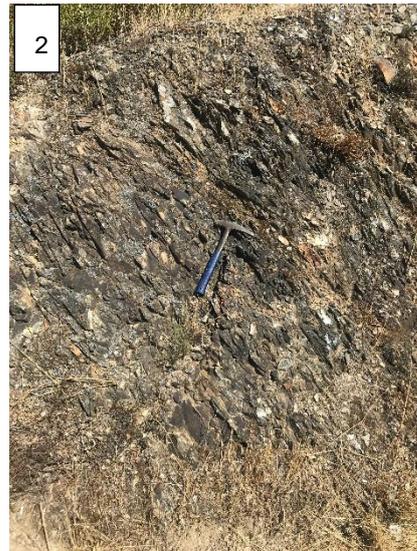
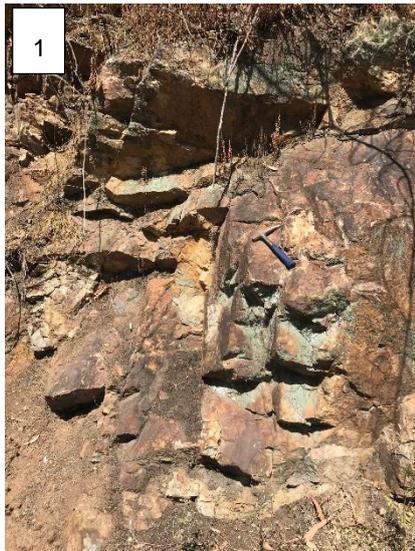


Figura 20- Apresentação das várias litologia reconhecidas no campo do local de estudo: (1)- Complexo xisto-grauváquico; (2)- Micaxistos quartzo-micáceos; (3)- Filádios bastante dobrados pertencentes à antiforma da Arega; (4)- Gnaisses tonalitos da antiforma da Arega; (5)- Formação de quartzitos do Ordovício; (6)- conglomerados com clastos de quartzo do Grupo de Silves.

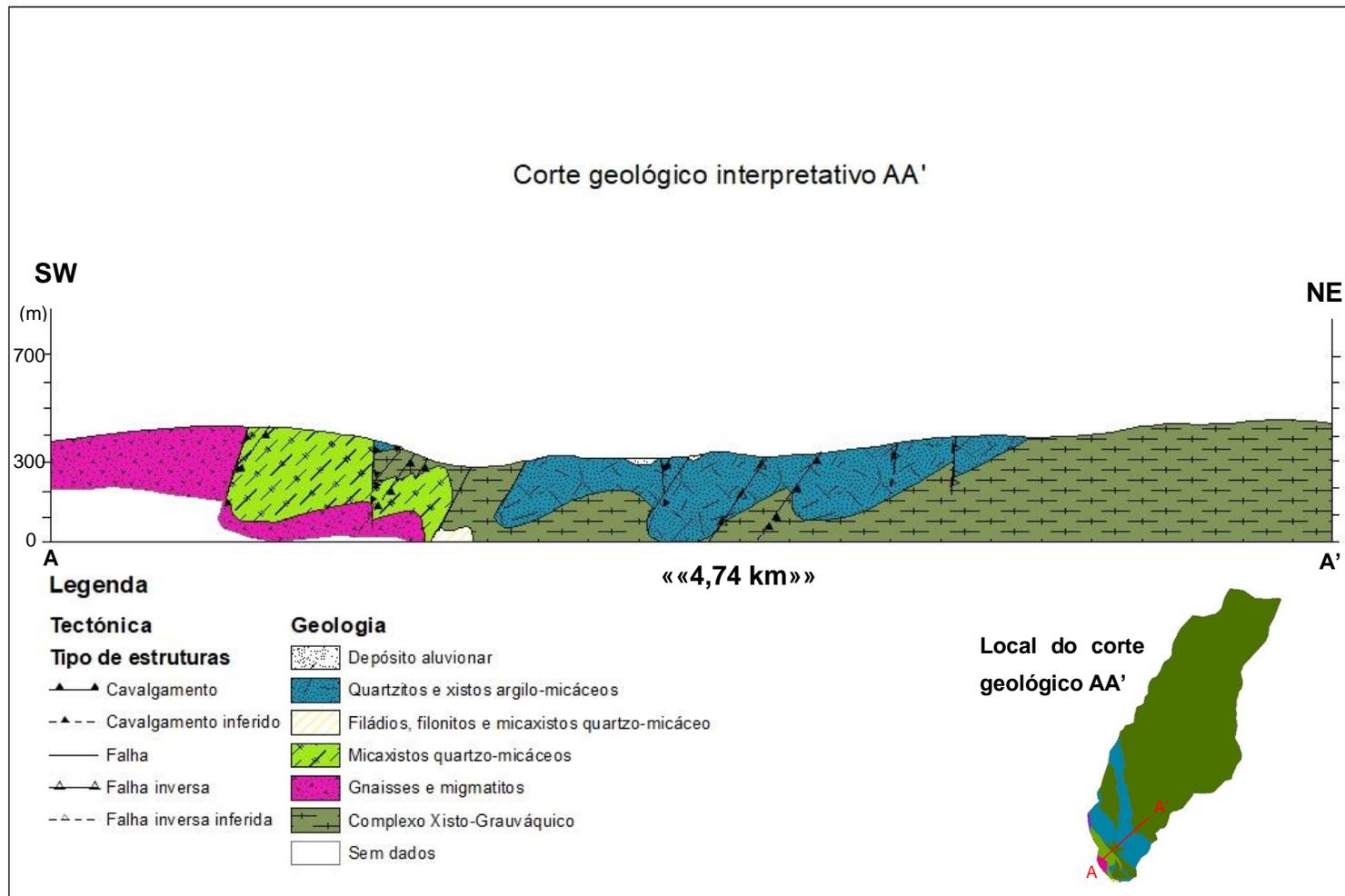


Figura 21- Corte geológico interpretativo da geologia da zona de estudo (adaptado de Gama Pereira, 1987 e criado em Software ArcGis® 10.6).

3.4. Tectónico-estrutural e Geomorfologia

3.4.1. Tectónico-estrutural

As unidades estruturais na região envolvente da BhRA, resultaram fundamentalmente da Orogenia Hercínica e evoluem desde o Maciço Hespérico até aos domínios pertencentes à Bacia Lusitânica.

Segundo Gama Pereira (1987), nas estruturas inseridas no Maciço Antigo observam-se bandas de deformação com uma orientação N10°W, sendo uma orientação dissemelhante ao grande sinclinal da Amêndoa, situado mais a Sul. O autor afirma ainda que as estruturas do Pré-câmbrico e do Paleozoico, desenvolveram -se em 3 fases: os dobramentos da 1ª fase continuam um plano axial pouco inclinado, com uma orientação geral NW-SE sofrendo posteriormente sinuosidades de direção 80°E, afetando principalmente as estruturas do Paleozoico; numa 2ª fase desenrolaram-se dois sistemas de cisalhamento frágil-dúctil conjugado, um com orientação N60°E esquerdo, e um com orientação N10°W (sintético), onde este último referido afeta principalmente esta zona em estudo, impulsionando dobras com planos variáveis e cavalgamentos; na 3ª fase os dobramentos revelam-se mais estirados e alongados, dado a deslizamentos com direção N55°W esquerdos e oblíquos.

Os alinhamentos existentes na unidade do Maciço Antigo estendem-se em profundidade para os setores da Bacia Lusitânica. Os principais alinhamentos que mexem com este processo são os que contêm uma direção N55°W e os paralelos ao bordo. No entanto, a reativação de alguns alinhamentos deu-se após a deposição jurássica, que remexeu a sedimentação cretácica na serra da Lousã (Gama Pereira, 1987).

3.4.2. Geomorfológico

A rede de drenagem da BhRA evolui em vales bastante encaixados e retilíneos (Figura 22). Esta está limitada a N pela Serra da Lousã, levando-se a considerar uma bacia de afundimento com aproximadamente uma direção de N-S. A direção da bacia dá-se devido a escarpas de falhas que resultaram do abatimento da crosta no setor a W, local de transição do Maciço Hespérico para a Orla Ocidental, gerando vales com orientação N-S (Gama Pereira, 1987).

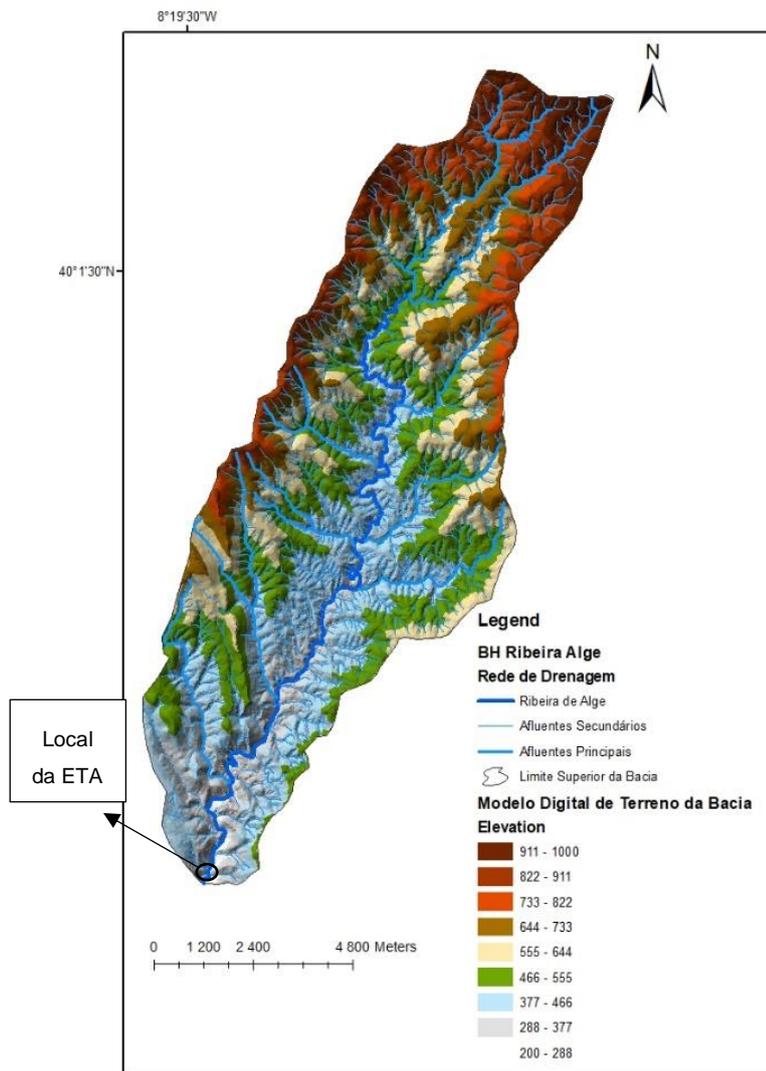


Figura 22- Modelo digital de terreno com sobreposição da rede de drenagem (mapas gerados em software ArcGis® 10.6, com base nas linhas de altimetria da zona).

As cotas da superfície variam extremamente de N para S como representado na Figura 22, ressaltando a Norte os vales estreitos e encaixados, por efeito da movimentação da ribeira e seus tributários, constatando-se além disso uma maior inclinação das vertentes na margem direita da ribeira, bem como já perto da captação da Ribeira de Alge (Figura 23). Pode-se concluir que a rede de fraturas tem um efeito passivo na distribuição da rede de drenagem.

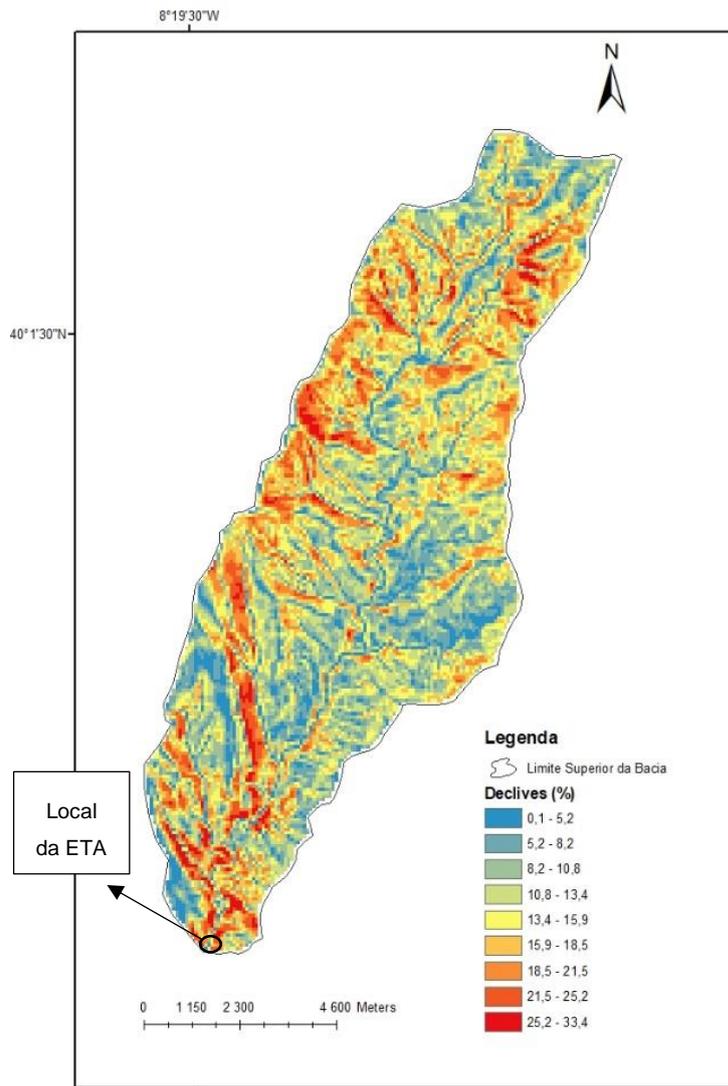


Figura 23- Mapa de declives da BhRA (mapas gerados em software ArcGis® 10.6, com base nas linhas de altimetria da zona).

3.5. Uso e ocupação do solo

O conhecimento do uso e ocupação do solo revela-se bastante importante para avaliação e monitorização dos recursos hídricos existentes na área, assim como no controlo de potenciais fontes de contaminação.

De acordo com o Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Figueiró dos Vinhos (2014), a atividade florestal nesta região ocupa é a que apresenta uma maior percentagem de ocupação do solo, correspondendo a cerca de 63%. Na zona envolvente da vila de Figueiró dos Vinhos, ocorrem mais atividades agrícolas e áreas sociais, com uma percentagem de aproximadamente 11% e 2%, respetivamente. O segmento que ocupa a segunda maior dimensão é o correspondente aos meios seminaturais (22%), ou seja, meios já com alguma atividade do homem, nos quais estão mais representados a Norte da bacia (Figura 23).

A área florestal nesta zona é dominada principalmente por árvores como o pinheiro bravo e o eucalipto, constituindo dois terços deste território, levando à promoção de indústrias de serração, carpintaria. Estas podem constituir fontes de contaminação das águas subterrâneas nesta região, assim como a agricultura intensiva por consequência da utilização de fertilizantes ou através da decomposição de resíduos orgânicos nos solos, bem como outras atividades industriais por efeito de algum incidente como refrigeração industrial ou libertação de efluentes que contaminem as águas subterrâneas e superficiais. Além disso a atividade doméstica como por exemplo emissão de resíduos domésticos ou problemas de mau funcionamento da rede de saneamento, pode promover igualmente a contaminação hídrica local.

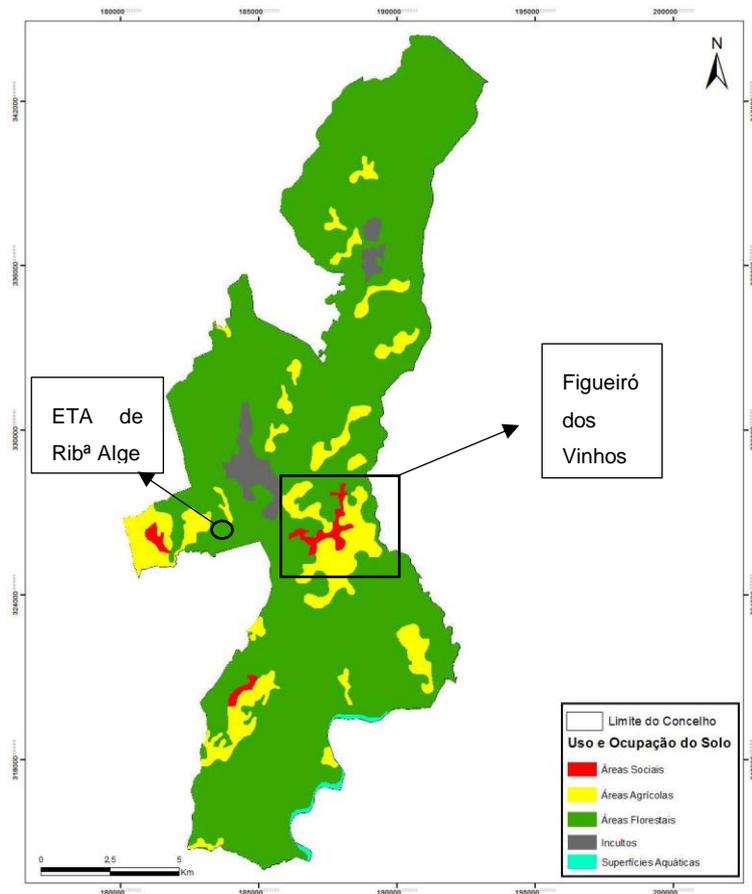


Figura 24- Mapa de uso e ocupação do solo nas envolventes do local estudado (adaptado de Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios – PMDFCI, novembro 2014).



Figura 25- Aspeto geral do uso e ocupação do solo nas envolventes da Captação e ETA da Ribª de Alge (imagem retirada de Google Earth, 2019).

4. Aplicação do método eletromagnético no domínio frequência para reconhecimento de estruturas geológicas

São apresentados neste capítulo algumas noções teóricas sobre o método eletromagnético, em seguimento uma melhor compreensão sobre os dados adquiridos e desenvolvidos, com principal objetivo de delinear as principais estruturas existentes no local em investigação, e conhecimento do funcionamento das mesmas.

4.1. Fundamentos teóricos sobre o método eletromagnético

O método eletromagnético resume-se na criação de um campo eletromagnético, variável no tempo, originado por uma corrente alterna que circula numa bobine. Trata-se de uma corrente com função sinusoidal, em que está relacionada com a profundidade de investigação, em virtude da frequência, isto significa, função de tempo. As ondas eletromagnéticas propagam-se entre uma fonte emissora e um recetor, compondo valores de condutividade (σ) ou resistividade (ρ) elétrica (Figueiredo, 2005).

Este tipo de método é baseado num princípio físico teórico que requer a presença de um campo eletromagnético variável no tempo, formando correntes elétricas induzidas em qualquer meio ou estrutura através de correntes iônicas que se encontra nele, tratando-se por indução eletromagnética (Castilho, 2008). No momento em que é gerado um campo eletromagnético (primário) à superfície, são induzidas correntes elétricas em seja qual for o corpo condutor no terreno, criando um campo eletromagnético secundário, oposto ao primário (Figura 26). A conexão entre estes campos eletromagnéticos possibilita distinguir várias estruturas geológicas, existentes no terreno, dado às anomalias associadas a cada tipo de estrutura (Figueiredo, 2005).

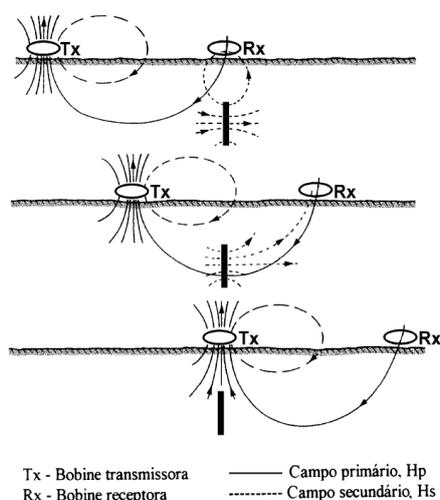


Figura 26- Posicionamento das bobines transmissora (Tx) e recetora (Rx), no terreno, e respetiva representação dos campos primário (Hp) e secundário (Hs) (Figueiredo, 2005).

Por efeito da existência de um desfasamento de ambos os campos, dado por fenómenos de indução relacionados com as correntes eletromagnéticas, a relação destes dois campos ao atravessarem a bobine recetora permitem a obtenção de um valor de condutividade do terreno. Os valores vão variar consoante a distância entre as bobines, da sua orientação, da frequência utilizada no campo indutor e na condutividade do meio em que circula as correntes induzidas (Figueiredo, 2005).

A utilização de método eletromagnéticos é muito comum, muitas vezes substituindo os métodos elétricos, devido à rapidez na recolha de amostras, facilidade de execução dos aparelhos e sendo mais vantajoso a nível económico (Castilho, 2008). Apesar disso, este método não é aconselhado em vários locais como por exemplo num meio urbano, por efeito de existência de uma maior quantidade de ruído eletromagnético, e também em locais onde existam metais na proximidade dos pontos medidos, influenciando por sua vez os valores obtidos, daí não ser aconselhado a utilização em locais como estes (Figueiredo, 2005).

A profundidade de penetração do campo eletromagnético gerado à superfície varia dependendo da frequência do campo, e da condutividade do meio em que se propaga. No entanto a amplitude do campo eletromagnético vai-se reduzindo durante a passagem pelas unidades atravessadas e diminuindo exponencialmente com a profundidade. A profundidade de penetração efetiva de um determinado campo, está relacionada com a profundidade máxima de investigação, que é dada pela seguinte equação (Keary & Brooks, 1984):

$$h = \frac{100}{\sqrt{\sigma * f}}$$

em que h é a profundidade de penetração efetiva, em metros, σ é a condutividade do meio, em S/m (Siemens por metro) e f é a frequência do campo eletromagnético, em Hz.

O campo eletromagnético induzido no meio geológico é variável consoante diferentes fatores como as características estruturais e mineralógicas, e também da dependência do tempo. Posto isto, consta-se que a maioria das rochas contém minerais que são maus condutores, ou seja, que têm uma condutividade muito baixa, contudo quando existem minerais como a pirrotite, magnetite, pirite, grafite, hematite e outros, em quantidades substanciais, bem como a presença de água, a condutividade dessas rochas aumenta (Figura 27). Resumidamente, a condutividade das rochas tem uma

parcela significativa da condutividade eletrolítica, assim dizendo, é criada pelas soluções como água e sais dissolvidos, que ocupam esses vazios (Castilho, 2008).

Segundo McNeill (1980) e citado por outros autores, os fatores que influenciam as propriedades elétricas do terreno são: a porosidade, os minerais constituintes das rochas, a quantidade de água ocupada nos vazios (grau de saturação), a composição e quantidade dos sais dissolvidos, e temperatura e estado físico da água nos poros. Concluindo que quando maior for a quantidade de água e sais dissolvidos nos poros da rocha, maior será a condutividade da rocha.

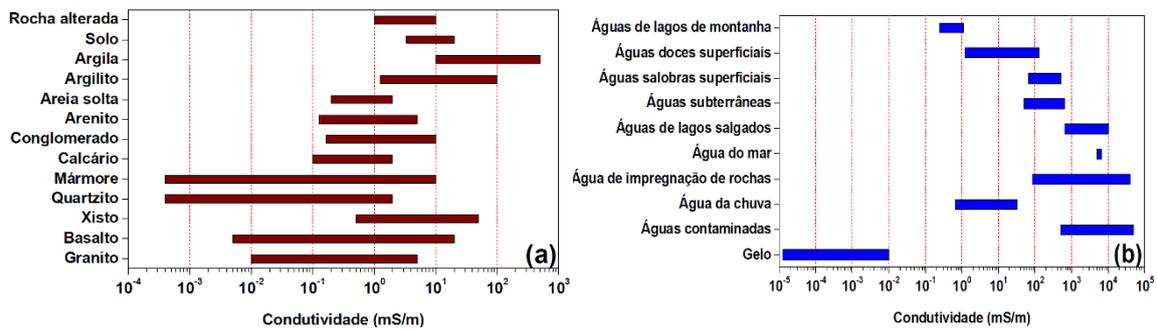


Figura 27- Amplitude dos valores de condutividade para vários tipos de rocha (a) e águas (b) (Keary & Brooks, 1984).

4.2. Aquisição e processamento dos dados

Os dados de condutividade elétrica aparente (mS/m), foram recolhidos com suporte aos condutímetro Geonics EM31 (Figura 28) e EM34 (Figura 29), operados em dipolo vertical e dipolo horizontal.

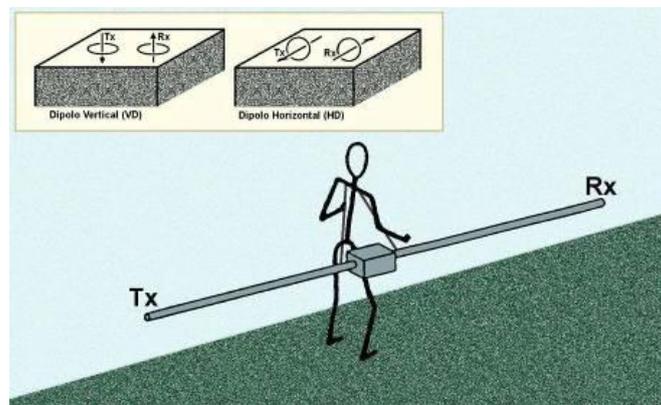


Figura 28- Metodologia utilizada na recolha de dados com o condutímetro Geonics EM31 (Figueiredo, 2010).

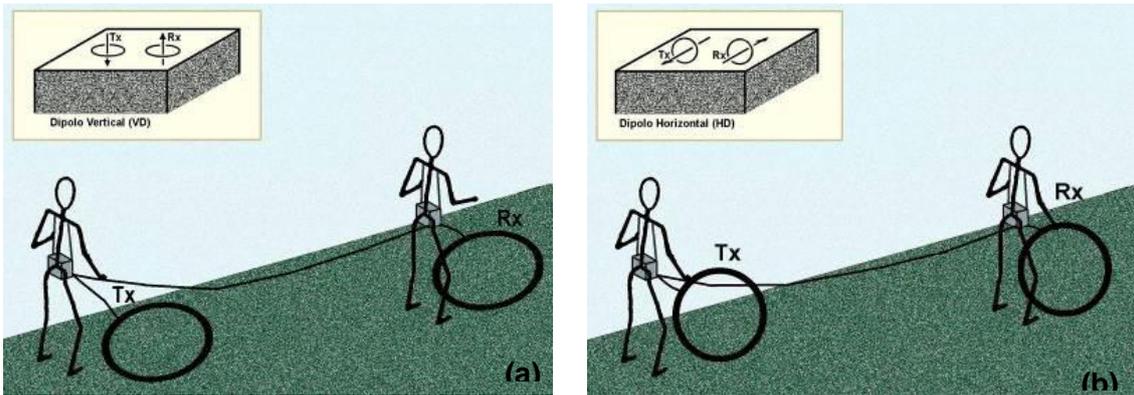


Figura 29- Metodologia utilizada na recolha de dados com o condutímetro Geonics EM34, dipolo vertical (a) e dipolo horizontal (b) (Figueiredo, 2010).

Foi utilizado um espaçamento de 10 em 10m nos pontos medidos, no qual em cada ponto foi realizado oito medições de condutividade elétrica aparente, duas leituras com o condutímetro EM31 com uma separação de 3,66m entre bobines, dipolo vertical (VD) e dipolo horizontal (HD), e seis medições com o condutímetro EM34, com separação entre bobines de 10, 20 e 40m, nos dipolos vertical (VD) e horizontal (HD). Com estes valores medidos em cada ponto, foi possível obter uma profundidade de investigação que varia entre os 2,2 m e 50,6 m (Tabela 3), sendo que estas medidas são referidas na bobine transmissora (Tx), do equipamento (Figueiredo, F. 2005).

Tabela 3- Parâmetros operacionais dos condutímetros Geonics EM31 e EM34 e profundidade de penetração efetiva em cada configuração (Figueiredo, 2005).

Condutímetro	Espaçamento entre bobines (m)	Frequência (Hz)	Orientação dos dipolos	Profundidade de penetração efetiva (m)
EM31	3,66	9800	HD	2,2
EM31	3,66	9800	VD	4,6
EM34	10	6400	HD	5,9
EM34	10	6400	VD	12,6
EM34	20	1600	HD	11,8
EM34	20	1600	VD	25,3
EM34	40	400	HD	23,5
EM34	40	400	VD	50,6

HD- Dipolo Horizontal (Bobine na posição vertical)

VD- Dipolo Vertical (Bobine na posição horizontal)

Os perfis na campanha de geofísica realizada nas margens da Ribeira de Alge, contêm um comprimento total de 1640 m e 167 pontos de medida, tendo sido realizados ao todo três perfis paralelos às margens da ribeira (Figura 30). Os perfis denominados de P1 e P2 desenvolveram-se na margem direita da ribeira, estando relativamente paralelos um ao outro, enquanto que o perfil P3 está incluído na margem esquerda da mesma, localizando-se também algo paralelo ao percurso final do perfil P1, posto que estes perfis se sucederam junto às margens da ribeira com objetivo principal de identificar principais estruturas geológicas.

No fim da recolha de todos os pontos medidos de cada perfil, foi feito um levantamento topográfico por GPS (Dakota 20), com intuito de localização dos pontos em Google Earth (2020), e também para realização de perfil de elevação para colocação em Software *RockWorks*.

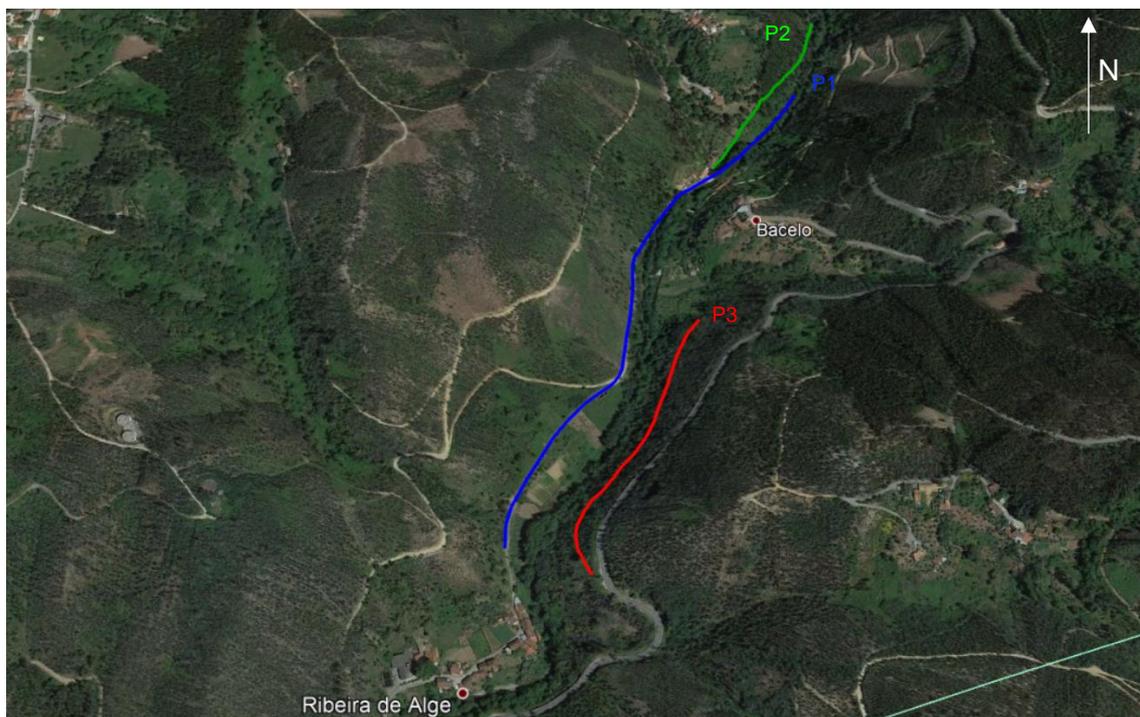


Figura 30- Localização dos perfis geofísicos P1, P2, P3.

Tabela 4- Descrição dos perfis executados na Ribeira de Alge.

Referencia do perfil	Comprimento (m)	Nº medidas feitas	Direção do perfil aproximadamente
P1	880	7120	NNE-SSW
P2	350	2880	NNE-SSW
P3	410	3360	NNE-SSW

O processamento dos dados foi desenvolvido em Software *Surfer 12*, através dos valores de HD e VD, a partir do método da média aritmética, tendo sido criados perfis de condutividade elétrica aparente, demonstrando assim várias possíveis estruturas existentes em profundidade.

Todavia, encontra-se um problema com as profundidades de investigação VD10 e HD20 (12,6 e 11,8m respetivamente) serem muito próximas, bem como as VD20 e HD40 (25,3 e 23,5m respetivamente). Nisto apurou-se um problema em função de em ambos os casos se apresentarem valores bastante distintos, os perfis iram apresentar zonas pouco marcadas, levando uma interpretação errada do modelo, arriscando-se a existir alinhamentos que não têm correspondência com as devidas estruturas geológicas. Foi solucionado recorrendo a uma técnica já desenvolvida e publicada em vários trabalhos, a titulo de exemplo por Figueiredo (2005) designada de “Estudo de uma pluma de contaminação pelo método de prospeção eletromagnético no dominio frequência – Geria, Coimbra”, uma metodologia para minimizar esse efeito, com base na média aritmética, a partir de secções denominadas de VDs e HDs, dado a cada uma destas ter uma predominância de leituras VD e HD em cada uma, respetivamente (Tabela 5).

Tabela 5- Seleção dos valores de condutividade medidos e utilizados para desenvolver as secções VDs e HDs (Figueiredo, 2005).

Equipamento	Profundidade efetiva (m)	Secção VDs	Secção HDs
HD 3,66-EM31	2,2	HD 3,66-EM31	HD 3,66-EM31
VD 3,66-EM31	4,6	VD 3,66-EM31	VD 3,66-EM31
HD 10-EM34	5,9	HD 10-EM34	HD 10-EM34
VD 10-EM34	12,6	VD 10-EM34	-----
HD 20-EM34	11,8	-----	HD 20-EM34
VD 20-EM34	25,3	VD 20-EM34	-----
HD 40-EM34	23,5	-----	HD 40-EM34
VD 40-EM34	50,6	VD 40-EM34	VD 40-EM34

As leituras obtidas no campo foram colocadas numa folha de cálculo Excel®, definindo coordenadas x (distância), y (profundidade de penetração efetiva) e z (valor da condutividade). No fim de criadas as folhas de cálculo com os respetivos valores das secções HDs e VDs, utiliza-se assim o Software *Surfer 12*, para construção dos perfis. Aqui ira-se gerar uma *Grid* com fundamento no método de interpolação da *Krigagem*, com os devidos parâmetros seleccionados (x,y,z), para ambas as secções. No fim deste passo, recorre-se à função *Grid/Math* para calculo da média aritmética, adicionando as secções VDs e HDs, produzindo uma função C, através da seguinte equação (Figueiredo, 2005):

$$C = \frac{(A + B)}{2}$$

Concluindo, pode-se elaborar um mapa de contorno com a *GridC*, equivalente à média aritmética das secções, evidenciando valores com ligação com as estruturas geológicas, e podendo serem analisados posteriormente. Este método apresenta uma grande vantagem de possibilitar que os valores da condutividade sejam visualizados em profundidade e lateralmente, contudo tem com problema o facto de os resultados continuarem a ser qualitativos (Castilho, 2008).

4.3. Interpretação de dados

Com suporte aos mapas gerados em *Surfer 12*, foi possível fazer uma análise algo detalhada de todos os mapas de modo a serem identificadas várias estruturas geológicas. Neste ponto serão discutidas as anomalias reconhecidas em cada pseudo-seção elaborada, segundo a condutividade elétrica aparente registada.

Perfil P1 (margem direita)

No perfil P1 verifica-se uma grande diversificação dos valores da condutividade elétrica aparente, estando compreendidos entre os 0 e os 30 mS/m, ao longo da sua dimensão.

A primeira grande anomalia constatada encontra-se entre os 150 e os 300m, em que se verifica valores de condutividade muito semelhantes separados por um alinhamento com uma direção de NW-SE. Este alinhamento possivelmente pode ser considerado uma falha devido aos valores de condutividade elétrica aparente serem similares, e devido a verificar-se uma linha de água reconhecida no campo, com uma orientação idêntica, alimentando a ribeira com um caudal bastante razoável.

Segundo as observações in situ e na cartografia geológica de Gama Pereira (1987), a linha de água aqui observada está inserida sobre os quartzitos do ordovícico, em que esta formação tem níveis de produtividade hidrogeológica significativamente mais elevada, em relação ao Complexo xisto-grauváquico, devido a esta estar condicionada por uma maior rede de descontinuidades, estando associados muitas vezes a nascentes, daí considerar-se também a existência de uma descontinuidade consoante a direção da linha de água, por isso podendo validar valores de condutividade mais elevada registados.

De seguida, os valores de condutividade vão diminuindo gradualmente até aos 390m, aproximadamente. A partir desta distância é verificada duas pequenas anomalias, uma entre os 390 e 430m, e outra entre os 470 e os 550m, ambas com valores perto de 10 e 17 mS/m, a uma profundidade com início nos 20m, sensivelmente, separadas por uma zona pouco condutiva bastante profunda. Esta marca pode ser indício de duas escarpas de falha ou por outro lado numa dobra sinclinal, isto porque foi presenciado à superfície uma pequena dobra nos filádios observados, localmente.

No fim do perfil, os valores de condutividades baixam acentuadamente desde os 600 aos 780m, observando-se uma zona muito homogénea neste intervalo. Desde os 780m até aos 860m a condutividade volta a aumentar significativamente, entre uma escala de valores de 7 a 12 mS/m. Importa salientar esta diferença devido esta apresentar uma orientação SW-NE, equivalente a um afluente da ribeira, em função de uma nascente existente, reconhecida no campo.

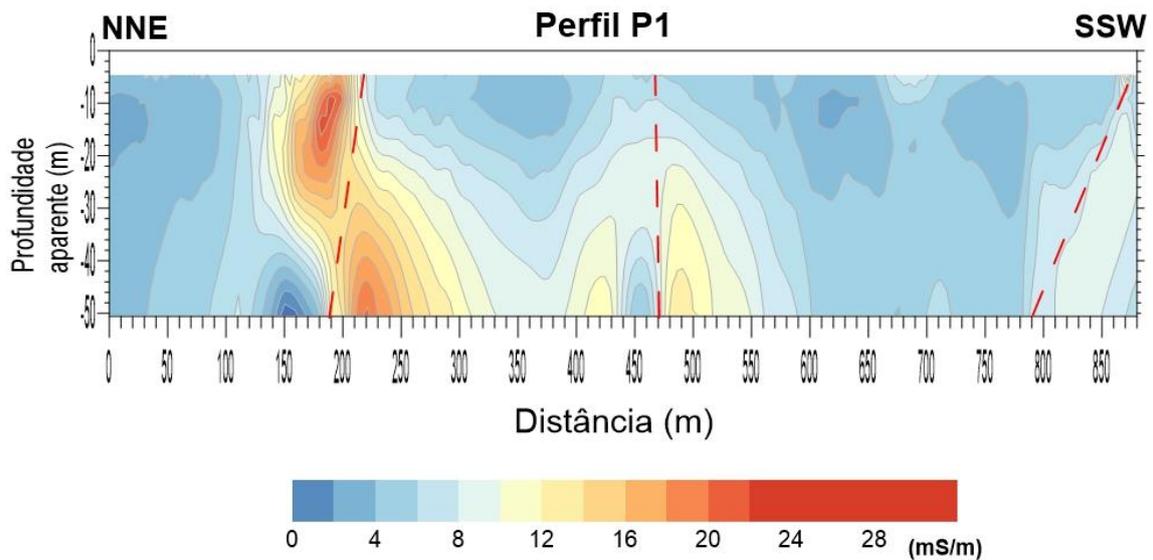


Figura 31- Perfil P1 criado com base na condutividade elétrica aparente, referente à margem direita da Ribeira de Alge.

Perfil P2 (margem direita)

O perfil P2 é representado desde o princípio até aos 250m por ser uma zona bastante monótona, com valores de condutividade elétrica aparente muito baixos, a rondar os 4 mS/m no máximo. À conta desta região muito homogénea não foram identificadas estruturas geológicas de nenhuma ordem, isto deve justificar-se por motivo de estar inserido no Complexo xisto-grauváquico, numa zona que sofreu muito pouca modificação a nível estrutural, e além disso o perfil ter sido realizado numa zona mais elevada em termos de altitude, atingindo a sua cota mais alta aos 240m, aproximadamente.

Desde os 250m a condutividade começa a aumentar, medianamente, em que no final do perfil, aos 310m, é verificado uma zona bastante condutiva com valores em volta dos 26 mS/m, isto pode ser justificado devido a este extremo do perfil ser, por pouco, intersectado pelo perfil P1, conformando com a zona bastante condutiva desse perfil, fundamentado pela existência de uma caixa de falha no quartzitos do Ordovícico. A possível falha neste perfil compreende com uma direção bastante semelhante à do perfil P1, podendo confirmar a existência da mesma.

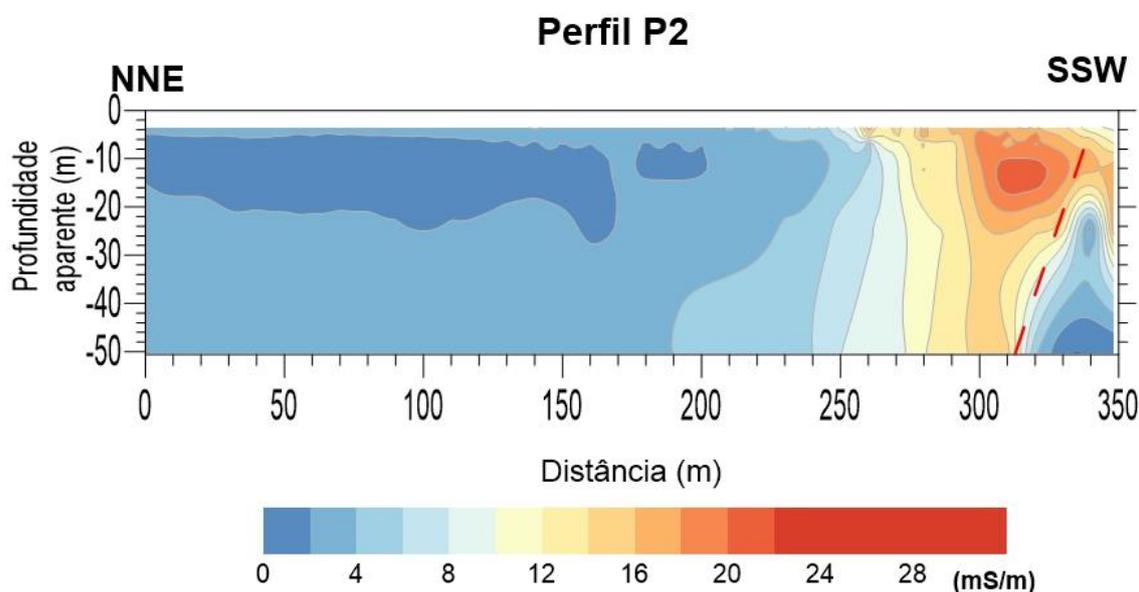


Figura 32- Perfil P2 criado com base na condutividade elétrica aparente, referente à margem direita da Ribeira de Alge.

Perfil P3 (margem esquerda)

O perfil P3, realizado na margem oposta aos restantes perfis, ostenta uma zona algo condutiva a partir do início do perfil até aos 160m, sensivelmente, que vai amplificando gradualmente à medida que aumenta a profundidade, alcançando valores máximos de 18 mS/m, sendo que este aumento pode ser explicado por várias considerações como: ser uma zona limitada superiormente por depósitos de vertente, derivados da escavação do caminho existente, ao passo que se avança profundidade vai-se abstando estes depósitos e encontrando uma unidade mais produtiva; bem como por ação da existência de uma linha de água situada uns metros depois do início do perfil com uma cota mais profunda, em relação ao início do perfil, gerando condutividades mais elevadas a esta cota; como também ser uma zona com uma rede de fraturas relevante.

Em seguida, encontra-se um setor com valores muito baixos, seguidos de uma zona com valores um bocado mais notáveis, com condutividades elétricas aparentes máximas de 12 mS/m, estendida entre os 200 e os 240m. Esta pode ser fundamentado pela existência de uma falha com orientação ENE-WSW, tendo também sido reconhecida uma falha existente, entre estas distâncias, à superfície com orientação semelhante. Por fim, desde os 240m a condutividade retorna a decrescer bastante, mantendo-se assim até final.

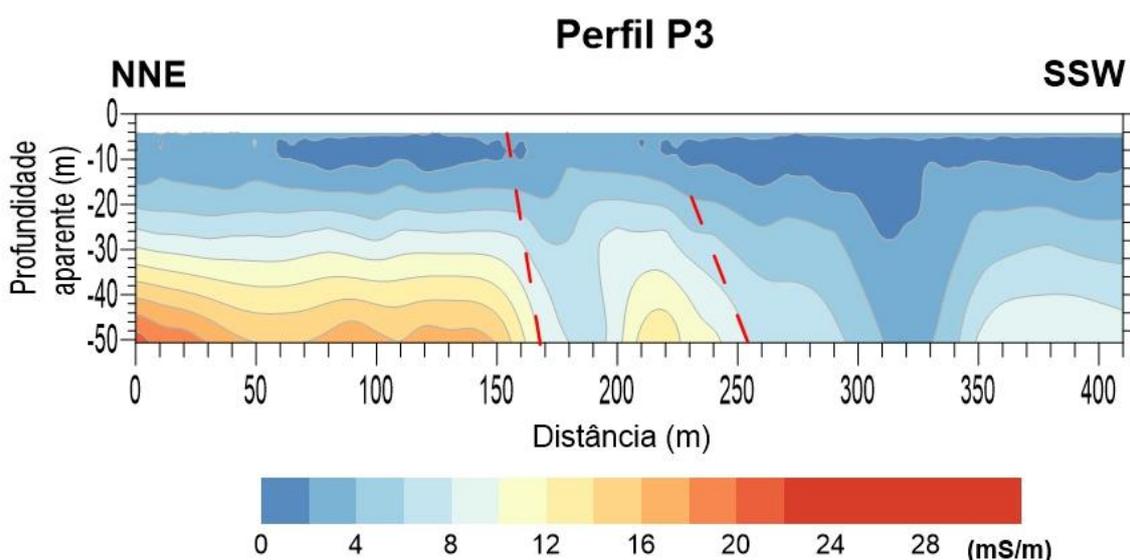


Figura 33- Perfil P3 criado com base na condutividade elétrica aparente, referente à margem esquerda da Ribeira de Alge.

Apreciação final dos perfis

Em síntese, no perfil P1 retira-se uma primeira grande anomalia dado provavelmente à linha de água existente NW-SE, estando inserida de acordo com a cartografia geológica da região, na formação dos quartzitos e xistos argilo-micáceos, representando-se numa zona bastante dobrada em sinclinal, daí estes apresentarem uma rede de fraturas bastante evoluída, facilitando a circulação de águas subterrâneas. Após a interpretação do perfil P2, pode-se confirmar esta descontinuidade dado à existência de uma grande anomalia no final do perfil, podendo correlacionar ambas, dando importância a este setor, considerando como um potencial hidrogeológico no caso de necessidade de aumento da produtividade da ETA da Ribeira de Alge, como realização de um furo.

A segunda estrutura detetada/representada no perfil P1, pode ser caracterizada como uma possível falha em profundidade, num local onde tem início o perfil P3, localizado na margem oposta da ribeira, aproximadamente, em que se verifica uma unidade com condutividades elevadas, podendo ser bastante produtiva a nível hidrogeológico. Exprimindo ainda a existência de um afluente de alguma extensão da ribeira, introduzido também na formação dos quartzitos do Ordovícico. Importa ainda referir que esta linha de água se situa, praticamente, paralela a essa falha inferida no perfil P1, justificando este local como sendo teoricamente produtivo a nível hidrogeológico.

Por fim, foi delimitada uma estrutura no final do perfil P1, com características de uma falha com uma boa produtividade, possivelmente. Como referido anteriormente, esta possível falha foi verificada à superfície devido à presença de um afluente com direção muito semelhante a esta, por esse motivo relacionar-se ambas. Tendo potencial para implementação de uma possível captação nos níveis aluvionares existentes na margem da ribeira, segundo essa possível falha a fim de melhorar o rendimento da atual captação, se porventura essa der sinais de pouco aproveitamento, principalmente em períodos mais secos, como no verão.

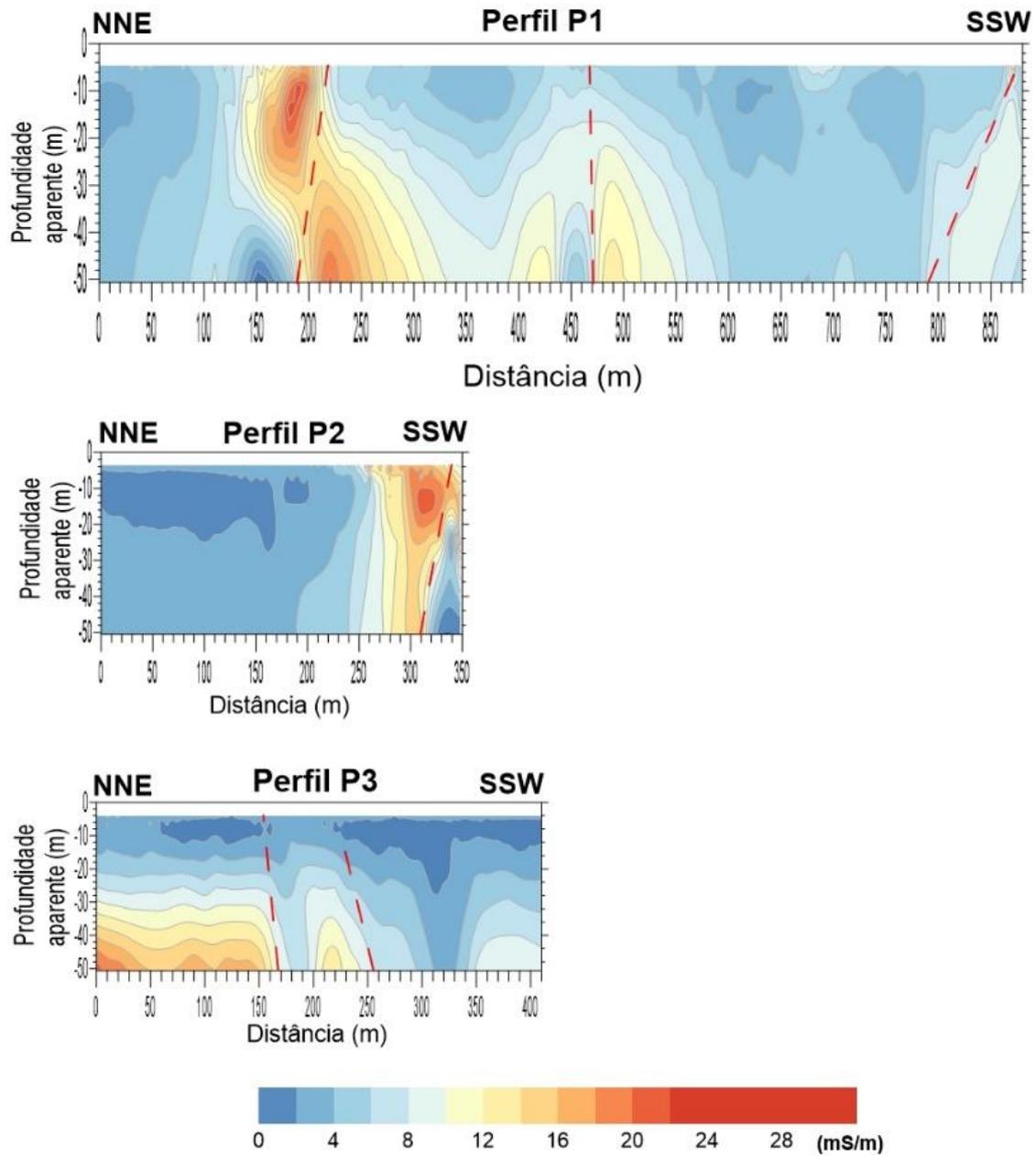


Figura 34- Perfis P1, P2 e P3 de condutividade elétrica aparente e respectiva interpretação.

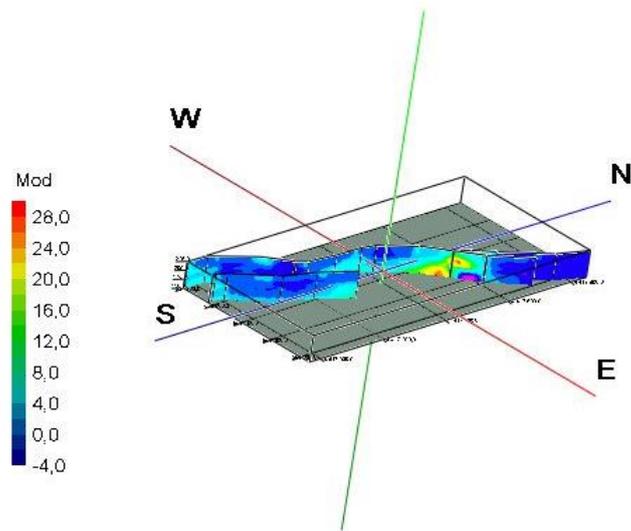


Figura 35- Modelo 3D da posição dos valores de condutividade elétrica aparente registados junto à Ribeira de Alge (modelo gerado em software RockWorks 17).

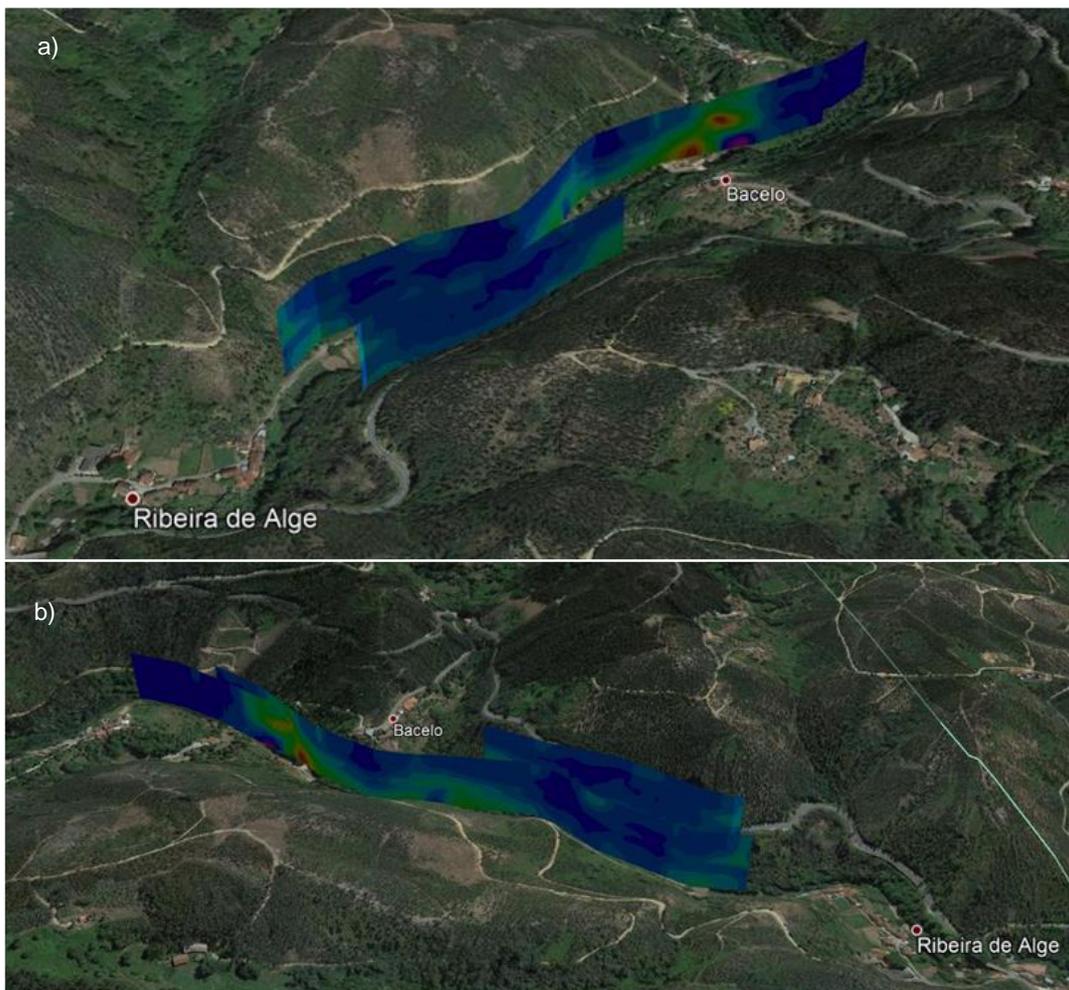


Figura 36- Posicionamento do modelo 3D dos perfis, nos locais em que foram efetuados. a) vista de Su-Sudoeste para Nor-Nordeste; b) vista de Este para Oeste (Modelo gerado em software RockWorks 17, posicionado no GoogleEarth, 2006).

5. Hidrogeologia local e avaliação dos recursos hídricos

Neste capítulo apresenta-se na primeira parte: (1) a caracterização hidrogeológica das formações locais; (2) o modelo hidrogeológico conceptual para o domínio em estudo; (3) a caracterização estrutural da ETA da Ribeira de Alge; (4) as características físico-químicas gerais da água ali captada. Na segunda parte, efetua-se a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos, nomeadamente dos recursos associados aos depósitos aluvionares.

5.1. Hidrogeologia das formações geológicas locais

As rochas existentes na região em estudo - BhRA, apresentam diferentes desempenhos do ponto de vista hidrogeológico. Na Tabela 6, expressam-se de forma sintética as características de cada formação. De referir que, algumas das designações utilizadas para as unidades geológicas resultam da classificação das mesmas, utilizadas anteriormente, no enquadramento geológico local, decorrente de Gama Pereira (1987).

Tabela 6- Caracterização e classificação hidrogeológicas gerais das formações geológicas da zona em estudo.

Idade geológica	Formação geológica* (Litologia dominante)	Meio hidrogeológico	Classificação hidrogeológica
Cenozóico	Aluviões (Depósitos silicicláticos)	Poroso – detrítico	Aquífero Não-confinado
Triásico	Formação da Conraria (Arenitos e siltitos)	Porosa – cársica e multicamada	Aquífero confinado a semi-confinado
	Formação de Pereiros (Arenitos e argilitos)	Poroso – pró-impermeável	Aquitardo
Paleozóico	Formações do Sinclínio Dornes-Espinal (Quartzitos e xistos argilomicáceos)	Fissurado – Fraturado	Aquífero confinado ou semi-confinado
Pré-câmbrico	Complexo Xisto-Grauváquico (Filitos e xistos)	Impermeável	Aquicluso
	Formações da Antiforma da Arega (Gnaisses, micaxistos e metagrauvaques)	Impermeável	Aquicluso

(*) Designação de Gama Pereira (1987).

5.2. Modelo hidrogeológico conceptual

Um modelo conceptual de uma região ou local expressa-se pela representação simplificada de um sistema em que se conhece apenas um número restrito de dados. Baseado nos dados geológicos, geomorfológicos, hidrológicos e hidrogeológicos da região, foi elaborado um modelo hidrogeológico conceptual, de forma a expressar a hidrodinâmica subterrânea, assim como, os processos de recarga e descarga das massas de água subterrânea na região de Ribeira de Alge (Fig. 38 e 39).

De acordo com a classificação hidrogeológica apresentada na Tabela 6, nos domínios envolventes da ETA de Rib^a de Alge ocorrem dois domínios aquíferos relevantes: (1) unidades aquíferas associadas aos depósitos aluvionares e (2) aquífero associado às formações quartzíticas do Paleozoico (Ordovício).

De uma forma geral a recarga natural das massas de água subterrâneas presentes na região desenvolve-se principalmente a partir da precipitação atmosférica, da infiltração direta das massas de água superficiais e da circulação subterrânea através da rede de fraturas. A recarga a partir da precipitação atmosférica promove variações sazonais consideráveis nos níveis freáticos.

Na BhRA podem ainda ocorrer a jusante da bacia alguns locais de recarga mais produtivos devido à presença de afluentes com caudais mais significativos, assentes em zonas com cotas à superfície menos elevadas, incrementando a infiltração da precipitação atmosférica.

A descarga aquífera na região pode ocorrer por processos naturais (mediante evaporação, evapotranspiração, descarga por exurgências e para linhas de água) e por processos induzidos (furos, poços, minas ou charcos).

Na região em estudo a descarga natural desenvolve-se para: a rede de drenagem superficial (linhas de água) e por drenância para unidades aquíferas mais profundas através da rede de fraturas (falhas, diáclases e outras descontinuidades). A drenância ocorre sobretudo através da passagem de água das aluviões para a unidade aquífera dos quartzitos do Ordovício, mas também para domínios intensamente fraturados das formações xistentas. A evaporação e a evapotranspiração constituem processos de descarga aquífera durante o período estival, assim como a descarga aquífera para nascentes.

A descarga induzida é feita essencialmente por furos em unidades aquíferas confinadas ou semi-confinadas, minas de águas e nascentes, e captação por poços com drenos horizontais executados nas aluviões (como é exemplo a ETA da Rib^a de Alge).

A hidrodinâmica subterrânea na BhRA decorre fundamentalmente de dois tipos de sistemas: (1) circulação pouco profunda e aproximadamente paralela ao escoamento superficial nas unidades aquíferas aluvionares; (2) circulação profunda e através de discontinuidades no aquífero quartzítico e nas zonas de fraturação (caixas de falha).

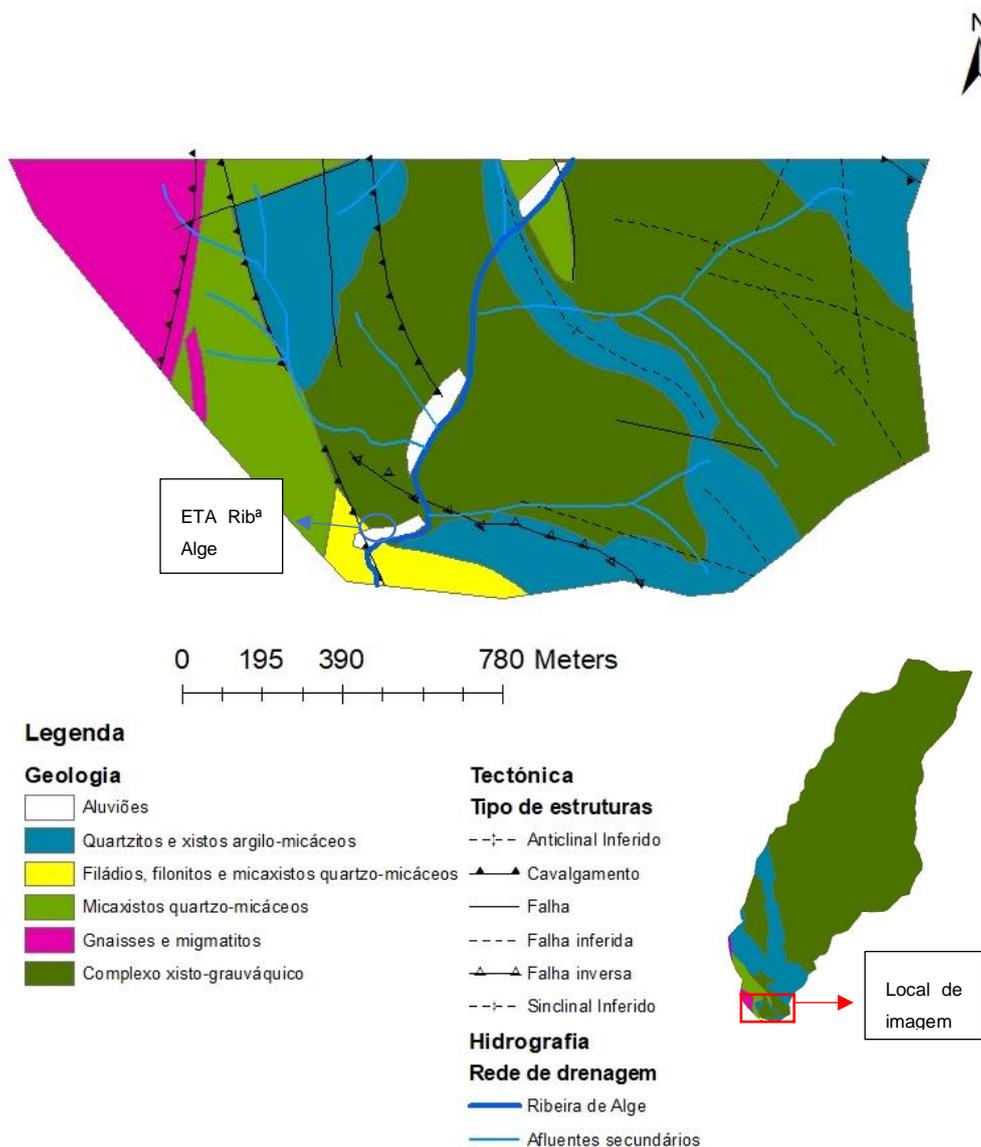


Figura 37- Localização na zona em estudo de: (1) geologia com os principais depósitos aluvionares locais; (2) principais zonas de fraturas; (3) rede de drenagem (imagem gerada em software ArcGis® 10.6).

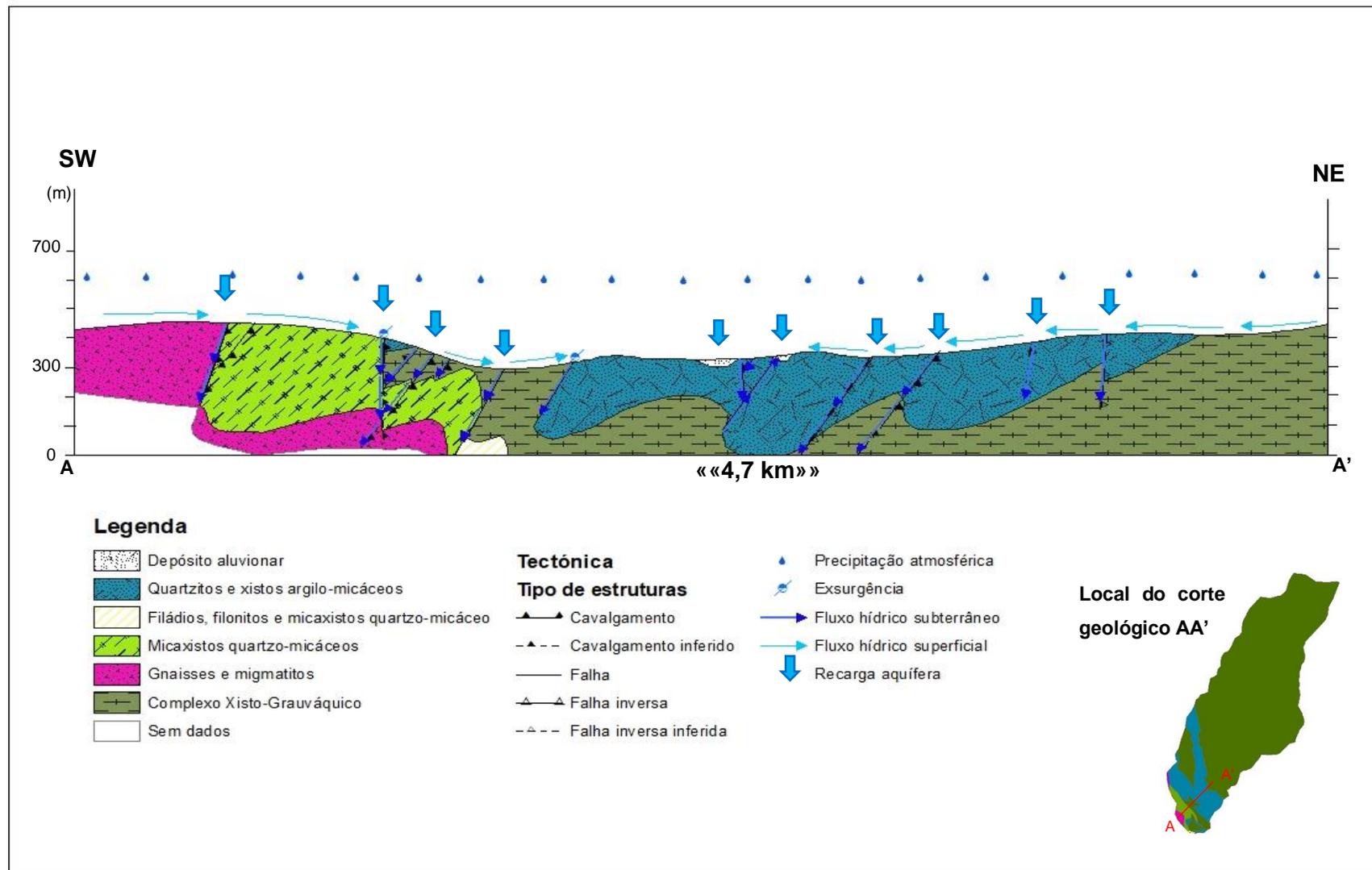


Figura 38- Perfil representativo do modelo hidrogeológico conceptual proposto para a região em estudo – setor recuado da bacia hidrográfica da Ribeira de Alge (modelo gerado em Software ArcGis® 10.6, com base na Carta geológica de Gama Pereira, 1987).

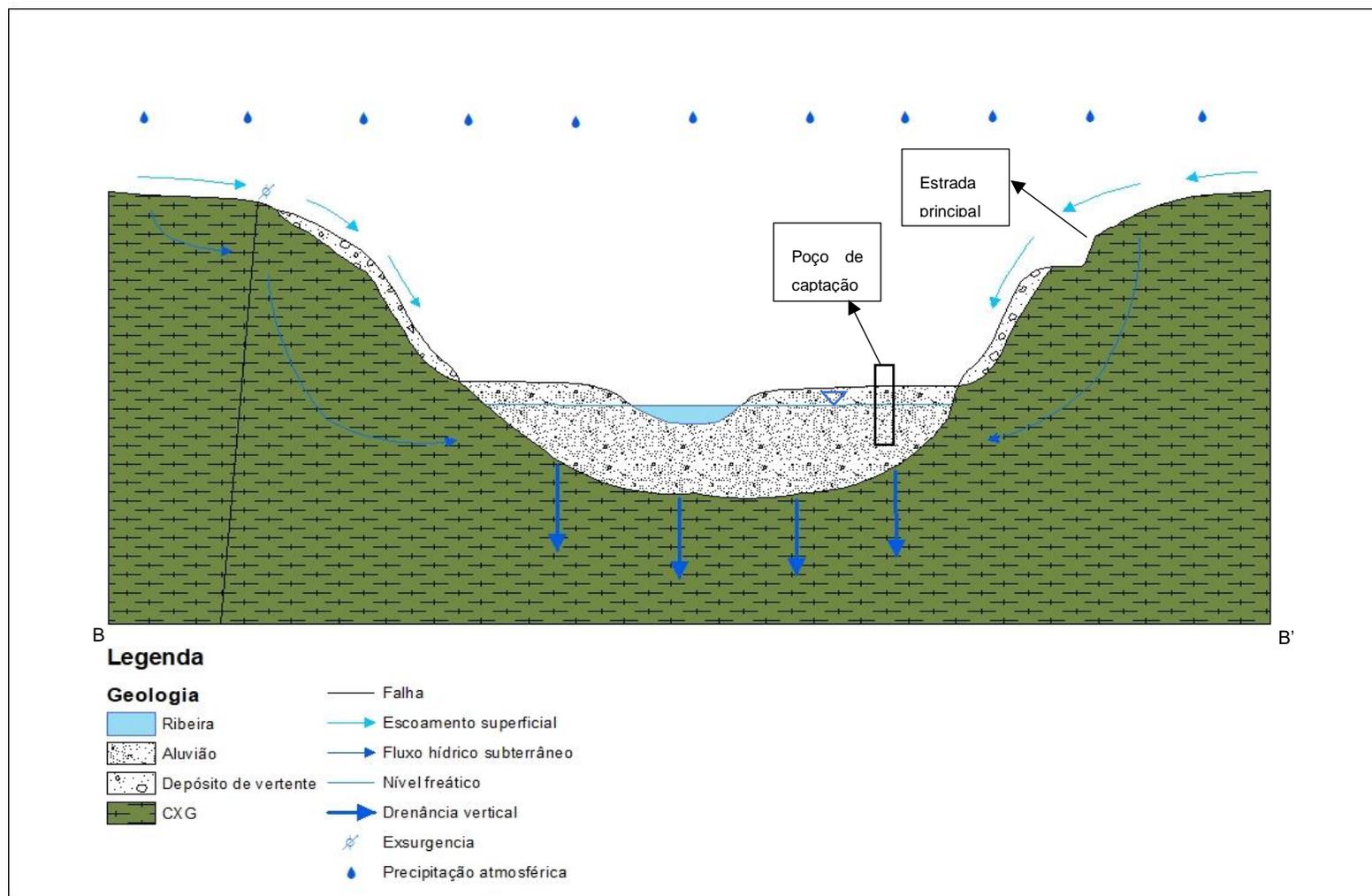


Figura 39- Perfil representativo do modelo hidrogeológico conceptual proposto para os domínios enquadrantes da ETA da Ribeira de Alge (modelo gerado em Software ArcGis® 10.6).

5.2.1. Unidades aquíferas aluvionares

Os depósitos aluvionares locais ocorrem em três domínios marginais da Rib^a de Alge (Figura 37). Devido à sua dimensão e a estarem assentes em formações xistentas pró-impermeáveis, apresentam um importante armazenamento hídrico, beneficiando da retenção da precipitação atmosférica e do escoamento superficial.

Na Tabela 7 apresenta-se a caracterização hidrogeológica dos aquíferos aluvionares.

Tabela 7- Características hidrogeológicas das unidades aquíferas aluvionares.

Litologia	Aluvião
Tipo de aquífero	Não confinado
Condutividade hidráulica (K)*	$10^{-1} - 10^{-5}$ m/s
Porosidades (n e ne) *	n = 10 a 25% ne = 5 a 20%
Recarga aquífera	- A recarga aquífera decorre da infiltração da precipitação atmosférica e escoamento superficial; - Transmissão de massas de água adjacentes por meio da rede de fraturas (falhas e outras descontinuidades).
Descarga aquífera	- Descarga natural: para a rede de drenagem superficial; para unidades aquíferas profundas por fraturas; - Descarga induzida: captação por furos e poços.

(*) De acordo com os valores apresentados na bibliografia de especialidade (p. ex: Freeze & Cherry, 1979).

5.2.2. Aquífero quartzítico

Os quartzitos exibem características hidrogeológicas relevantes devido a estas formações estarem bastante fraturadas, e delimitadas lateral e inferiormente por unidades impermeáveis de natureza xistenta. Os resultados da prospeção geofísica realizada no local, confirmam a intensa fraturação destas rochas (anomalias elevadas), apontando para a intensa circulação de águas nesta unidade. Esta unidade aquífera pode ainda ser recarregada a partir das formações sobrejacentes do Grupo de Silves, bem como dos depósitos aluvionares.

Na Tabela 8 apresenta-se a caracterização hidrogeológica do aquífero quartzítico.

Tabela 8- Características hidrogeológicas do aquífero associado aos quartzitos do Ordovícico.

Litologia	Quartzito intensamente fraturado
Tipo de aquífero	Semi-confinado a confinado
Condutividade hidráulica (K)*	$10^{-4} - 10^{-6}$ m/s
Porosidades (n e ne) *	n = 5 a 20% ne = 5 a 15%
Recarga aquífera	<ul style="list-style-type: none">- A recarga aquífera decorre da infiltração da precipitação atmosférica;- Do escoamento superficial nos locais onde a unidade aflora;- Transferência lateral de água a partir de unidades aquíferas adjacentes ou pela rede de fraturas.
Descarga aquífera	<ul style="list-style-type: none">- Descarga natural: para as exurgências existentes; para unidades aquíferas profundas por fraturas;- Descarga induzida: captação por furos.

(*) De acordo com os valores apresentados na bibliografia de especialidade (p. ex: Freeze & Cherry, 1979; Fetter, 2001).

5.3. ETA da Ribeira de Alge

Este subcapítulo baseia-se em observações de campo e em informação disponibilizada pelas Águas do Centro-Litoral, nomeadamente em elementos dos relatórios técnicos sobre os trabalhos executados na ETA de Ribeira de Alge e nos depósitos aluvionares envolventes.

A Estação de tratamento de águas de Ribeira de Alge – ETA da Rib^a Alge - é constituída por um conjunto de um poço principal (poço 3) e três poços secundários (1, 2 e 4), interligados por drenos com 0,4 m de diâmetro. O poço principal possui uma profundidade de 8 m e um diâmetro de 3 m; os poços secundários têm 3,6 m de profundidade e 4 m de diâmetro.

Os poços secundários 1 e 2 foram implantados no depósito aluvionar numa primeira fase, tendo ambos a mesma profundidade (3,6m), enquanto que o poço secundário 4 foi construído numa fase posterior devido ao açude instalado a jusante destes três poços construídos anteriormente, ter encaminhado a uma maior sedimentação e materiais coloidais, dificultando a percolação da água nestes. Por esse motivo o poço secundário 4 ter sido desenvolvido subsequentemente, de maneira a garantir uma maior quantidade e qualidade da água captada, não sendo afetado pela sedimentação provocada pela albufeira, encontrando-se situado a uma distância de cerca de 140 m, a montante do poço principal, (Figura 40).

O poço principal (poço 3) está inserido quase totalmente no soco de xistos. Encontrando-se a uma distância de 9,2 m dos poços secundários 1 e 2, e a 140 m do poço secundário 3, como citado previamente, encontrando-se ligado aos anteriores por condutas (poço 1 e 2) e por drenos.

No poço secundário 1 (situado mais a jusante), foram encontrados depósitos com areias finas e grosseiras com alguns grãos de quartzito bem rolados e xisto com pouca argila, derivados dos depósitos de vertente. No poço secundário 2 (localizado a montante) foi identificado a mesma sequência, porém contendo alguma terra vegetal até ao primeiro metro de profundidade.

A partir da profundidade de cerca de 2,8 m, nos poços 1 e 2 atingiu-se os xistos, tendo sido perfurando até aos 3,1 metros. Sendo o restante foi revestido com anéis de betão na zona aluvionar à superfície, alcançando uma altura total dos poços de 3,6 metros.

Todos os 4 poços possuem uma tampa de betão soldada às paredes do poço, para prevenir a entrada de águas provenientes da precipitação atmosférica e decorrentes da eventual submersão dos poços devido à subida do nível da água da ribeira em épocas de maior caudal.

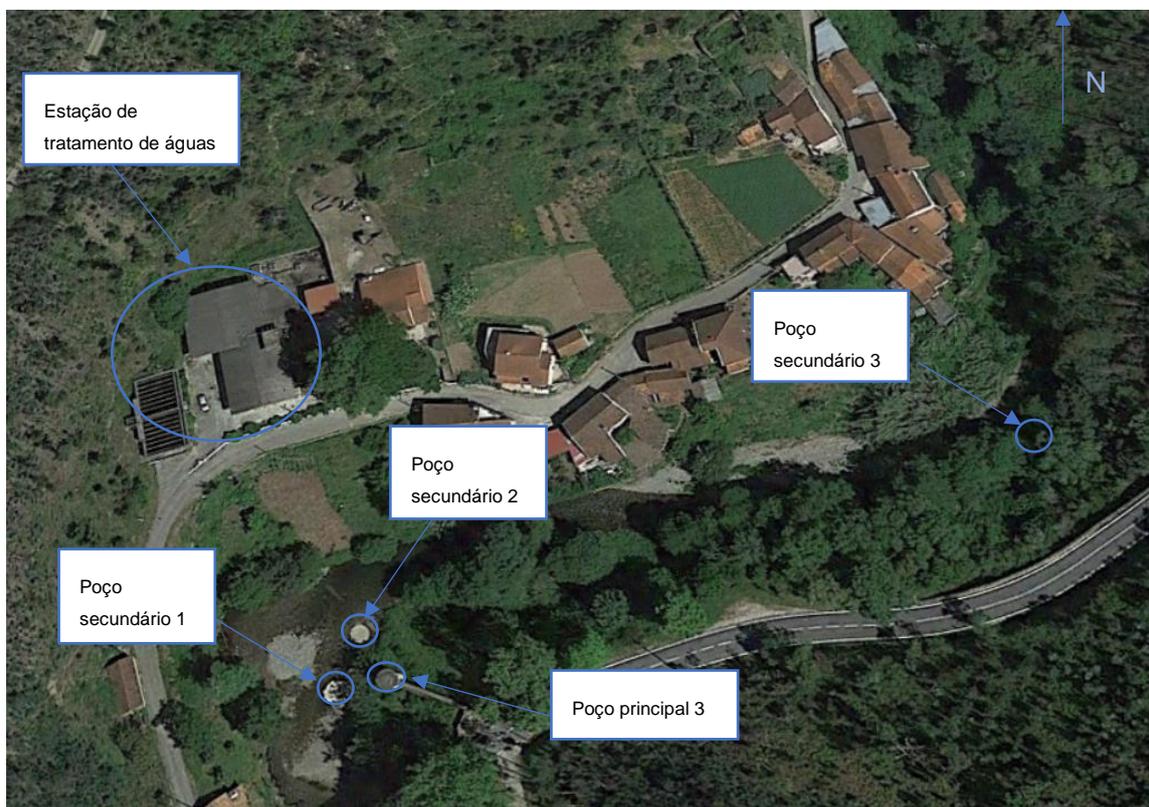


Figura 40- Localização e elementos estruturais da ETA de Ribeira de Alge.

O dreno de ligação dos dois poços secundários, mais próximos do poço principal, possuem 0,4 m de espessura, tendo ficado sensivelmente horizontal e abrangendo superiormente uma camada de 0,2 m de espessura de seixo bem calibrado de maneira a ajudar na filtração da água captada, alcançando ainda poucos centímetros dos xistos inferiormente (Figura 41).

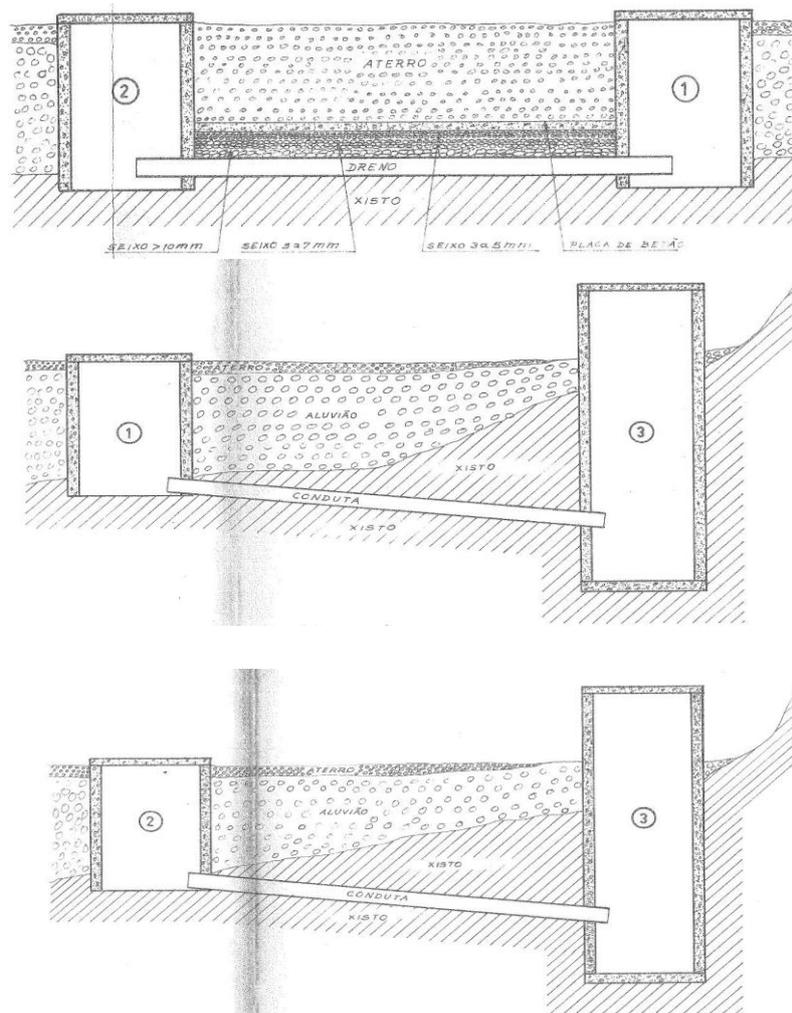


Figura 41- Perfis esquemáticos dos poços e drenos de inter-ligação da ETA da Rib^a de Alge: 1 e 2 - poços secundários; 3 - poço principal (retirado dos relatórios de sondagem da captação de Ribeira de Alge).

O caudal médio captado aqui é de 3700 m³/dia. Esta água captada é conduzida, armazenada e tratada em reservatórios colocados na margem direita da ribeira (Figura 40). São feitas regularmente análises físicas e químicas de forma a certificar a qualidade da água. Todo este procedimento justifica-se devido à ETA abastecer principalmente a população do município de Figueiró dos Vinhos e do município de Ansião.



Figura 42- Perspetiva geral do poço principal (3) e dos poços secundários (1 e 2), seguidamente do açude instalado a jusante.

5.4. Hidrogeoquímica da água captada na ETA de Ribeira de Alge

A água captada na ETA de Ribeira de Alge pode ser classificada como uma água sub-superficial uma vez que não é captada diretamente a água da Ribeira. A caracterização aqui apresentada baseia-se nos resultados das análises de alguns parâmetros físico-químicos como a condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e do pH (20°C) da água captada na Ribeira, e fornecidos pelas Águas do Centro Litoral.

De acordo com Castilho (2008) a composição química da água deriva das múltiplas interações químicas, físicas e biológicas ocorridas no decorrer do seu ciclo hidrológico, levando à origem de vários tipos de águas diferentes, e em constante evolução, sempre que as condições de equilíbrio existentes se alterem. É referido ainda que as principais reações químicas abrangidas neste sistema dependem, da composição das fases líquida, sólida e gasosa em contacto, resultando ser do tipo ácido/base, de precipitação/dissolução, de hidrólise, de complexação e de oxidação/redução.

Segundo Castilho (2008), o conhecimento da hidroquímica da água revela-se bastante vantajoso para a identificação dos vários tipos de água, podendo indicar a relação entre a zona não saturada e a zona saturada. Com base no conhecimento da composição das águas subterrâneas e superficiais, apoiado na análise dos parâmetros físico-químicos, é possível identificar a origem, percursos e interações químicas distintas da água com o meio, e ainda, a identificação dos processos hidrogeoquímicos ativos nas massas de água presentes na zona em estudo.

Na Tabela 9 são apresentados alguns parâmetros - temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH (registado na escala Sorensen, a 20° em média), e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) – quantificados tri ou quadri-mensalmente em amostras da água “em bruto” captada na ETA de Ribeira de Alge.

Tabela 9- Resultados de análises físico-químicas efetuadas em amostras da água captada na ETA de Ribeira de Alge em 2019 e 2020.

Data	Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	pH (a 20 $^{\circ}$)
02/09/2019	63	17,5	7,1
07/10/2019	70	15,4	7,1
24/10/2019	63	12,1	7,4
29/10/2019	57	13,9	6,9
05/11/2019	55	14,8	7,3
12/11/2019	51	12,1	7,1
19/11/2019	51	11,0	7,2
26/11/2019	50	14,2	6,8
03/12/2019	53	12,0	6,9
10/12/2019	60	11,0	8,0
17/12/2019	51	12,4	6,5
07/01/2020	52	8,8	6,8
14/01/2020	54	9,0	6,9
21/01/2020	52	9,0	6,8
28/01/2020	51	11,9	6,9
04/02/2020	51	12,2	6,9
11/02/2020	69	12,6	6,9
18/02/2020	52	12,2	6,9
26/02/2020	50	11,6	7,1
03/03/2020	50	12,0	7,2
10/03/2020	47	11,7	6,9
05/05/2020	51	14,9	6,9
12/05/2020	51	14,9	6,9
19/05/2020	50	15,9	6,9
26/05/2020	51	19,6	6,9

A condutividade elétrica reflete-se na quantidade de sais dissolvidos na água (elementos sólidos e iões) capazes de transmitir corrente elétrica, distribuídos entre si através da interação com a água, avaliando o tempo de residência e a qualidade da água subterrânea (Guerreiro *et al*, 1998). Os valores de condutividade elétrica expressam:

- Uma muito fraca quantidade de substâncias dissolvidas na água captada; esta característica reflete a origem sub-superficial e um reduzido tempo de residência da água captada;
- Uma amplitude de valores máximos de 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mínimos de 47 $\mu\text{S}/\text{cm}$; este intervalo de valores indica que são águas oriundas da precipitação atmosférica com elevada taxa de infiltração e, eventualmente com uma fração de origem subterrâneas a partir de massas de água que circulam através de descontinuidades e falhas, como nos quartzitos e xistos fraturados nesta zona.
- Os valores mais altos poderão corresponder a períodos de precipitação mais elevada ou também de interação de águas provenientes de massas de água subterrânea, alterando levemente a concentração de iões dissolvidos, e as suas cargas elétricas.

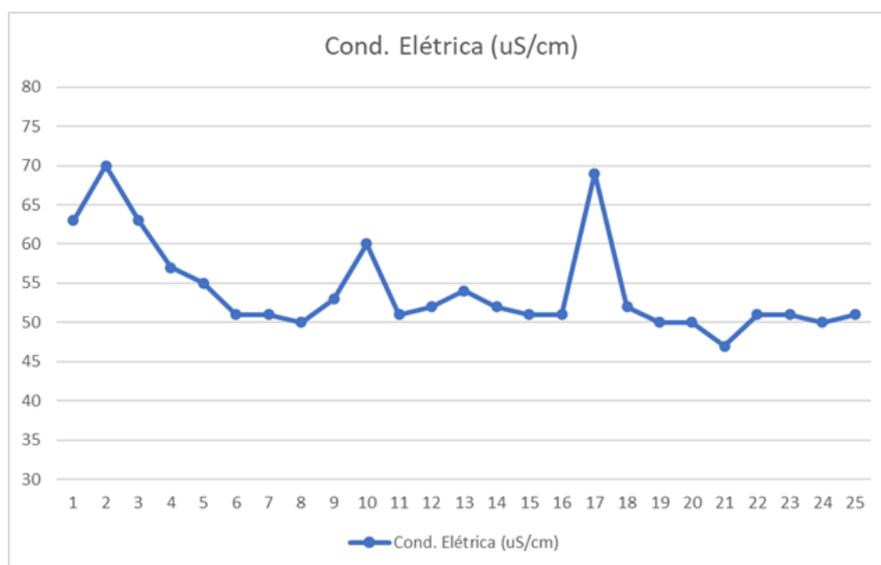


Figura 43- Variação dos valores de condutividade elétrica quantificados em amostras da água registados na ETA de Ribeira de Alge.

A temperatura da água captada na ETA está claramente condicionada pela exposição solar e pela temperatura da precipitação atmosférica e do escoamento superficial, uma vez que são captadas águas superficiais e sub-superficiais. Como observado na Tabela 9 a temperatura varia entre os 9 e os 20°C, sendo que os valores mais elevados foram registados entre no início de setembro e outubro de 2019, e no mês de maio de 2020, tratando-se de meses com temperaturas mais elevadas, por esse motivo a exposição à radiação solar ser um agente determinante.

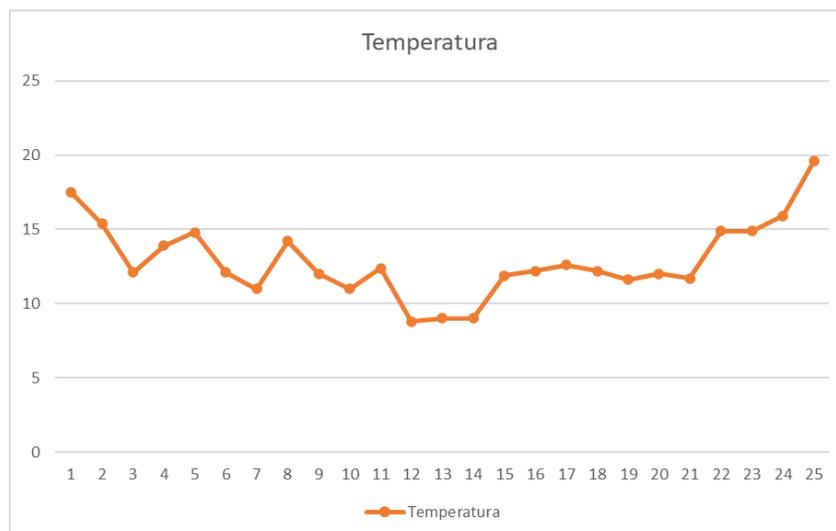


Figura 44- Variação dos valores da temperatura quantificados em amostras da água registados na ETA de Ribeira de Alge.

O pH é um parâmetro químico que traduz o grau de alcalinidade ou acidez da água, estando diretamente relacionado com a concentração do ião de hidrogénio (H+) na água.

Na água em estudo, a oscilação do pH é muito reduzida: os valores evoluem entre os 6,5 e os 8,0. Estes valores apontam para águas com um pH intermédio, assim apesar de serem águas provenientes maioritariamente da precipitação atmosférica e do escoamento superficial (águas usualmente com pH ácidos), os valores do pH apontam para a ocorrência de tempos de residência no reservatório suficientemente elevados e alguma interação água-aluviões, os quais permitem a neutralização da água.

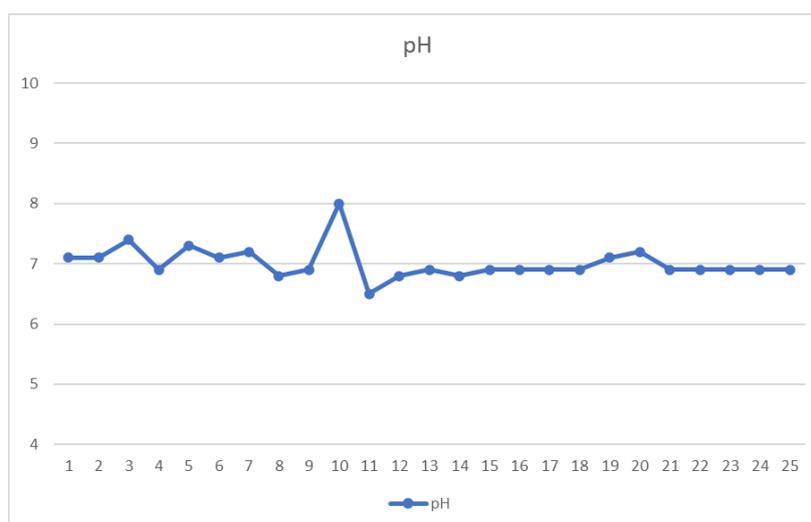


Figura 45- Variação dos valores do ph quantificados em amostras da água registados na ETA de Ribeira de Alge.

5.5. Avaliação dos recursos hídricos associadas às aluviões

Na região em estudo evoluem diversas massas de água, nomeadamente: água de escoamento superficial, água subterrânea inserida nos depósitos aluvionares e outras massas de água subterrânea implantadas nas formações geológicas locais (formações do soco geológico).

Devido à ausência de registos de natureza hidrológica (por exemplo: inexistência de registos de caudal da Rib^a de Alge) ou de elementos geológicos e hidrogeológicos relativos às formações quartzíticas locais, optou-se por avaliar e quantificar os recursos hídricos armazenados nos depósitos aluvionares de maior dimensão que ocorrem na margem direita da Rib^a de Alge – depósito 1, 2 e 3 (Fig. 46 e 47).



Figura 46- Localização dos depósitos aluvionares estudados (1, 2 e 3) e dos perfis topográficos efetuados em cada depósito (sobre imagem do GoogleEarth, 2006).

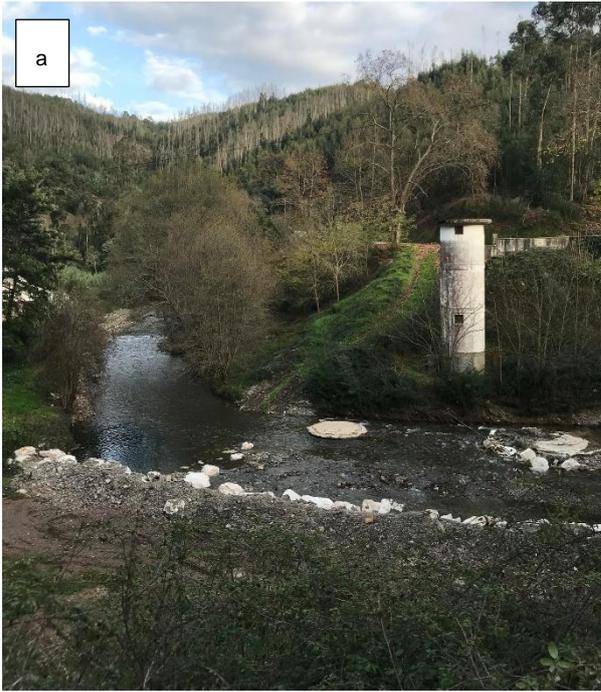


Figura 47- Aspeto geral dos depósitos aluvionares estudados: depósito 1 (a), depósito 2 (b) e depósito 3 (c).

Atendendo a que não foi possível definir a espessura e morfologia geral dos depósitos com base na campanha de prospeção geofísica (não foi possível realizar perfis eletromagnéticos perpendiculares à ribeira com a extensão necessária, devido a estes não obterem uma quantidade de pontos de medição de condutividade aparente suficientes para a criação de perfis eletromagnéticos), utilizaram-se métodos geomorfológicos simplificados para a determinação da morfologia e do volume de cada depósito aluvionar.

Desta forma, recorreu-se à execução de conjuntos de perfis topográficos para cada depósito perpendiculares à ribeira (Fig. 46). Utilizaram-se os elementos topográficos e altimétricos da Carta 275 e 276, à escala 1:25000, tendo sido georreferenciados previamente com o *software ArcGis 10.6*. Em cada perfil prolongaram-se (com o *software CorelDraw X7*) as linhas do declive natural das formações xistentas que funcionam como substrato (soco ou *bedrock*) dos depósitos aluvionares (Fig. 48). Este processo permitiu definir com alguma aproximação 3 secções triangulares para cada depósito. Considerando as sucessivas secções, obtiveram-se 2 prismas de base triangular para cada um dos 3 depósitos estudados. O somatório dos 2 volumes dos 2 prismas/depósito corresponde ao volume total de cada depósito.

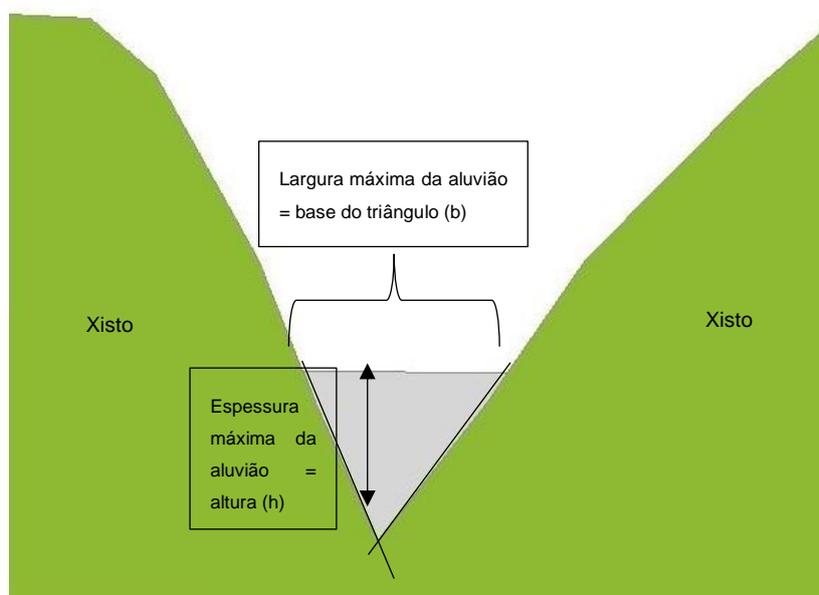


Figura 48- Imagem interpretativa de perfil topográfico (gerado em ArcGis 10.6), com prolongamento das linhas de declive das formações xistentas (soco ou *bed-rock* do depósito aluvionar).

Para obtenção do volume (V) de cada prisma (i.e., de cada depósito aluvionar) efetuou-se a transposição para a escala real (Fig. 49), posteriormente operando-se pelas seguintes formulas:

$$A_b = \frac{(b \times h)}{2} \quad \text{e} \quad V = A_b \times L$$

Onde:

- L = comprimento do prisma (depósito aluvionar);
- A_b = Área da base do prisma (depósito aluvionar);
- b = Base do triangulo (largura máxima do aluvião);
- h = Altura do triangulo (espessura máxima do aluvião).

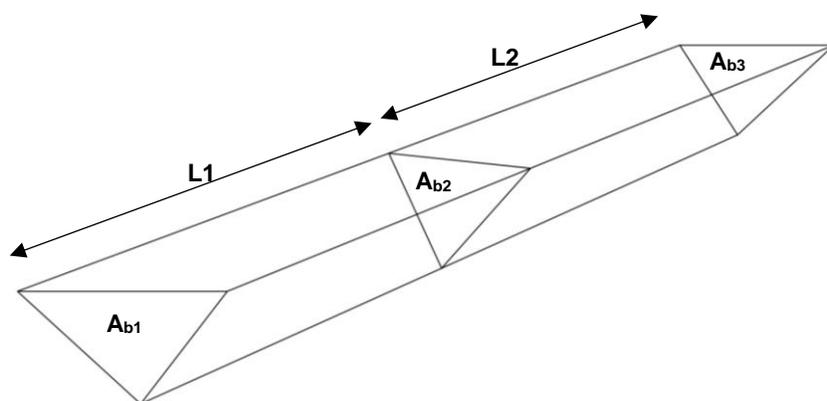


Figura 49- Ilustração dos prismas de base triangular obtidos para cada depósito aluvionar com base no traçado de perfis topográficos transversais e de extrapolações geomorfológicas simplificadas.

Atendendo a que todas as secções triangulares apresentam áreas ligeiramente diferentes, optou-se por utilizar o valor médio das 2 secções sucessivas para determinar o volume de cada prisma.

Após a determinação do volume total de cada depósito aluvionar (V_t), foi necessário calcular: (1) o volume de cada depósito aluvionar saturado em época invernal (volume saturado máximo); (2) o volume saturado de cada depósito aluvionar saturado em época estival (volume saturado mínimo). Considerando que esta variação de volumes corresponde à profundidade e à oscilação sazonal do nível freático local (Fig. 50), a qual depende diretamente da oscilação do nível da água na ribeira, atribuindo-se os valores apresentados na Tabela 10 a:

- Profundidade do nível freático e variação da espessura do aluvião saturado no inverno ($\Delta h_{\text{inverno}}$);

- Profundidade do nível freático e variação da espessura do aluvião saturado no verão ($\Delta h_{\text{verão}}$).

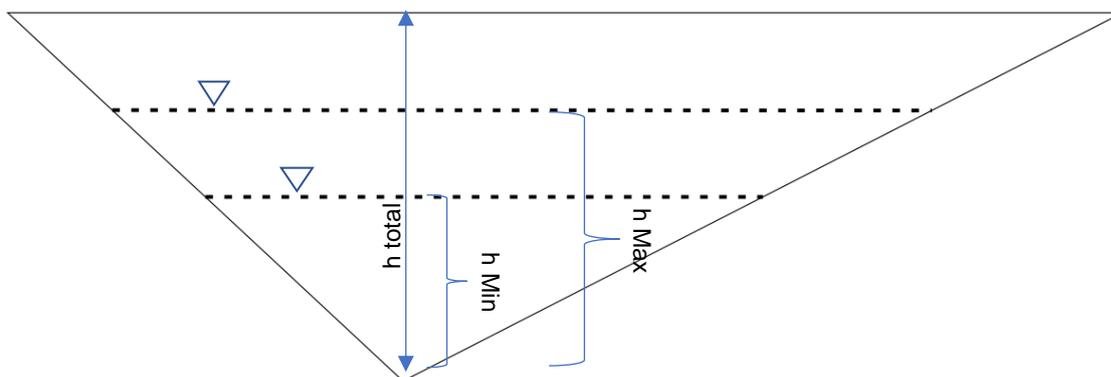


Figura 50- Representação da variação sazonal do nível freático (nível da água) nos depósitos aluvionares locais (h_{min} : Verão; h_{max} : Inverno).

Tabela 10- Variação sazonal do nível de água.

	h_{inverno} (m)	$h_{\text{verão}}$ (m)	Δh (m)
Depósito 1	0,5	1,5	1,0
Depósito 2	2,5	3,0	0,5
Depósito 3	0,5	1,0	0,5

Os valores apresentados na Tabela 10 – variações sazonais do nível freático nos depósitos aluvionares (Δh) – basearam-se: (1) em observações de campo e (2) no enquadramento físico e na morfologia dos 3 depósitos. Assim, a maior variação (1,0 m) no nível freático do depósito aluvionar 1 (junto à ETA) resulta da presença do açude e da captação hídrica; as variações mais suaves (0,5 m) nos depósitos 2 e 3 estão associadas ao estado quase natural (sem estruturas condicionantes do regime de escoamento natural) das margens da Rib^a, o qual possibilita a recuperação rápida do caudal de base da linha de água. Importa referir que, devido às variações no nível freático em cada depósito, o valor da largura também foi reduzido em função desse rebaixamento. Obtendo um valor mais preciso do volume das aluviões.

Com a aplicação dos valores e das metodologias acima expressas obtiveram-se para cada depósito aluvionar – 1, 2 e 3 – os valores de Volume depósito total (V_{total}), Volume depósito saturado máximo ($V_{Sat\ max}$) e Volume depósito saturado mínimo ($V_{Sat\ min}$). Nas Tabelas 11, 12 e 13 apresentam-se esses valores.

Tabela 11- Valores dos volumes total, saturado máximo e saturado mínimo para o depósito aluvionar 1, localizado junto à ETA de Rib^a Alge.

	Parâmetro	Total	Saturação máxima	Saturação mínima
Perfil 1	h (m)	15	14,5	13,5
	b (m)	52,0	49,0	47,0
	Área da Secção (m ²)	390	355,3	317,3
Perfil 2	h (m)	18,75	18,25	17,25
	b (m)	52,4	51,0	48,6
	Área Secção (m ²)	491,3	465,4	419,2
Perfil 3	h (m)	18	17,5	16,5
	b (m)	54,0	52,0	50,0
	Área da Secção (m ²)	486,0	455,0	412,5
	Área Secção média (P1, P2)	440,6	410,3	368,2
	Área Secção média (P2, P3)	488,6	460,2	415,8
	Comprimento P1 e P2 (m)	58	58	58
	Comprimento P2 e P3 (m)	55	55	55
	V segmento 1	25556,3	23798,1	21356,3
	V segmento 2	26874,4	25310,3	22871,1
	V total (m³)	52430,6	49108,4	44227,4

Tabela 12- Valores dos volumes total, saturado máximo e saturado mínimo para o depósito aluvionar 2, localizado junto a tanque de água a montante da ETA.

	Parâmetro	Total	Saturação máxima	Saturação mínima
Perfil 4	h (m)	21,0	18,5	18
	b (m)	52,3	46,3	44,3
	Área da Secção (m ²)	549,2	428,3	398,7
Perfil 5	h (m)	11,8	9,3	8,8
	b (m)	50,3	40,3	38,3
	Área Secção (m ²)	296,8	187,4	168,5
Perfil 6	h (m)	6,5	4,0	3,5
	b (m)	37,6	25,6	23,8
	Área Secção (m ²)	122,2	51,2	41,7
	Área Secção média (P4, P5)	423,0	307,8	283,6
	Área Secção média (P5, P6)	209,5	119,3	105,1
	Comprimento P4 e P5 (m)	72	72	72
	Comprimento P5 e P6 (m)	74	74	74
	V segmento 1	30453,1	22164,1	20419,9
	V segmento 2	15501,9	8828,0	7776,3
	V total (m³)	45955,0	30992,1	28196,2

Tabela 13- Valores dos volumes total, saturado máximo e saturado mínimo para o depósito aluvionar 3, localizado logo depois da povoação da situada a montante da ETA.

	Parâmetro	Total	Saturação máxima	Saturação mínima
Perfil 7	h (m)	11,5	10,9	10,5
	b (m)	34,0	32,0	31,0
	Área Secção (m ²)	195,2	175,7	162,4
Perfil 8	h (m)	9,36	8,86	8,36
	b (m)	27,7	25,7	24,7
	Área Secção (m ²)	129,4	113,6	103,0
Perfil 9	h (m)	15,8	15,3	14,8
	b (m)	40,0	38,0	37,0
	Área Secção (m ²)	316,0	290,7	273,8
	Área Secção média (P7, P8)	162,3	144,7	132,7
	Área Secção média (P8, P9)	222,7	202,2	188,4
	Comprimento P7 e P8 (m)	74	74	74
	Comprimento P8 e P9 (m)	72	72	72
	V segmento 1	12008,8	10704,5	9822,6
	V segmento 2	16034,5	14555,9	13566,1
	V total (m³)	28043,3	25260,3	23388,8

Após o cálculo dos volumes dos 3 depósitos aluvionares saturados em água (máximos = final do inverno e mínimos = final do verão), procedeu-se à determinação dos volumes de água subterrânea (reserva hídrica) armazenados nestas unidades aquíferas. Assim, recorreu-se às seguintes fórmulas:

$$Reserva\ min. = V_{Sat\ min} \times n_e$$

$$Reserva\ máx. = V_{Sat\ máx} \times n_e$$

$$Reserva\ reguladora = Reserva\ máx. - Reserva\ mín.$$

Onde:

R_{min} = Reserva mínima

$R_{máx}$ = Reserva máxima

$V_{Sat\ min}$ = Volume saturado mínimo

$V_{Sat\ máx}$ = Volume saturado máximo

n_e = Porosidade eficaz do depósito aluvionar

A porosidade eficaz corresponde à razão entre o volume de poros disponível para a circulação da água e o volume total da amostra. Neste presente estudo, utilizaram-se os valores apresentados no Decreto-Lei nº382/99 de 22 de setembro, relativos a “Aluviões – Rochas sedimentares não-consolidadas” (Tabela 14).

Tabela 14- Valores médios da porosidade eficaz para algumas das principais rochas e depósitos (tabela retirada de Decreto-Lei nº382/99, de 22 de setembro).

Valores de porosidade eficaz					
Material		Porosidade eficaz (percentagem)			Observações
Tipo	Descrição	Média	Máxima	Mínima	
Rochas maciças	Granito	< 0,2	0,5	0	(a)
	Calcário	< 0,5	1	0	(b)
	Dolomito	< 0,5	1	0	(b)
Rochas metamórficas	—	< 0,5	2	0	(a)
Rochas vulcânicas	Piroclastos	< 5	20	0	(c) (e)
	Escórias	20	50	1	(c) (e)
	Tufos vulcânicos	< 5	20	0	(d)
	Basaltos densos, fonólitos	< 1	2	0,1	(a)
	Basaltos vacuolares	5	10	1	(c)
Rochas sedimentares consolidadas.	Rochas foliadas	< 2	5	0	(e)
	Arenitos	10	20	0	(f)
	Calcário detrítico	3	20	0,5	—
Rochas sedimentares não consolidadas.	Aluviões	15	35	5	(e)
	Dunas	20	30	10	—
	Cascalheiras	25	35	15	—
	Areias	25	35	10	—
	Depósitos glaciares	15	30	5	—
	Lodos	10	20	2	(e)
	Argilas não compactadas	2	10	0	(e)
	Solos de cobertura	10	20	1	(e)

- (a) A porosidade eficaz aumenta devido à meteorização.
 (b) A porosidade eficaz aumenta devido a fenómenos de dissolução.
 (c) A porosidade eficaz diminui com a idade.
 (d) A porosidade eficaz pode aumentar com a idade.
 (e) A porosidade eficaz varia muito segundo as circunstâncias e o tempo.
 (f) A porosidade eficaz varia segundo o grau de cimentação e solubilidade.

De acordo com os valores expressos no Decreto-Lei nº382/99, foram calculadas as reservas hídricas para 3 cenários de n_e – 5%, 15% e 35%.

Nas Tabelas 15, 16 e 17 apresentam-se os valores finais para as reservas mínimas, máximas e reguladoras de cada depósito, consoante as diferentes porosidades.

Tabela 15- Valores finais da reserva mínima, máxima e reguladora, para uma porosidade eficaz de 5%.

Depósito	Volume saturado máximo (m³)	Volume saturado mínimo (m³)	Reserva hídrica máxima (m³)	Reserva hídrica mínima (m³)	Reserva reguladora
1	49108,4	44227,4	2455,4	2211,4	244,1
2	30992,1	28196,2	1549,6	1409,8	139,8
3	25260,3	23388,8	1263,0	1169,4	93,6

Tabela 16- Valores finais da reserva mínima, máxima e reguladora, para uma porosidade eficaz de 15%.

Depósito	Volume saturado máximo (m ³)	Volume saturado mínimo (m ³)	Reserva hídrica máxima (m ³)	Reserva hídrica mínima (m ³)	Reserva reguladora
1	49108,4	44227,4	7366,3	6634,1	732,2
2	30992,1	28196,2	4648,8	4229,4	419,4
3	25260,3	23388,8	3789,0	3508,3	280,7

Tabela 17- Valores finais da reserva mínima, máxima e reguladora, para uma porosidade eficaz de 35%.

Depósito	Volume saturado máximo (m ³)	Volume saturado mínimo (m ³)	Reserva hídrica máxima (m ³)	Reserva hídrica mínima (m ³)	Reserva reguladora
1	49108,4	44227,4	17188,0	15479,6	1708,4
2	30992,1	28196,2	10847,2	9868,7	978,6
3	25260,3	23388,8	8841,1	8186,1	655,0

Posto isto, verifica-se que o depósito aluvionar com o volume mais relevante e com um maior potencial de aproveitamento é o que se encontra junto da captação de Ribeira de Alge. Todavia o depósito aluvionar intermédio revela também uma boa capacidade de aproveitamento. Concluindo que para garantir uma boa gestão destas massas de água sub-superficiais é essencial que a água captada nestas formações não ultrapasse o valor da reserva reguladora, permitindo um aproveitamento sustentável das massas de água.

Este método demonstra-se bastante útil, se porventura não existam dados relevantes para o cálculo das reservas hídricas para os depósitos aluvionares representando resultados consideráveis, contudo os resultados apresentados são substancialmente presuntivos devido a estas unidades não ostentarem realmente esta forma regular, todavia aufere-se valores análogos podendo compreender a capacidade de armazenamento destes depósitos.

6. Conclusões e recomendações

Neste capítulo apresentam-se de uma forma sintética as metodologias e os resultados alcançados com o presente estudo. Termina-se o capítulo com a indicação de algumas recomendações relevantes para um melhor desenvolvimento sustentável dos recursos envolventes da ETA de Rib^a de Alge.

6.1. Conclusões

A área estudada corresponde aos domínios envolventes da Estação de Tratamento de Águas (ETA) e ao setor a montante desta, correspondente à bacia hidrográfica da Ribeira de Alge (BhRA). Esta bacia encontra-se incorporada na bacia hidrográfica do Rio Zêzere, pertencendo esta ainda à grande bacia hidrográfica do Rio Tejo. A BhRA apresenta uma orientação preferencial NNE-SSW, abrangendo uma área plana bastante extensa, alcançando os 96 km², representando uma bacia alongada. Possui uma precipitação atmosférica média anual de 1300 mm, e um *input* hídrico médio anual de 124 800 000 m³.

A região em estudo encontra-se maioritariamente inserida na Unidade geológico-estrutural do Maciço Antigo. No extremo W ocorrem ainda formações da Orla Mesocenozóica Ocidental. Nos domínios enquadrantes do Maciço Antigo ocorrem rochas pertencentes ao Complexo xisto-grauváquico como xistos e grauvaques, maioritariamente, e ainda rochas como os quartzitos e gnaisses, enquanto que no setor da Orla Ocidental afloram essencialmente formações sedimentares do Grupo de Silves.

Do ponto de vista tectónico, as principais unidades estruturais da região derivaram da Orogenia Hercínica. A hidrografia regional e local inclui uma rede de drenagem que se desenvolve por vales encaixados e retilíneos, compreendendo uma direção N-S por efeito do abatimento da crosta. A topografia do setor da bacia estudado é bastante abrupta, sobretudo no setor N, contendo vales estreitos e encaixados, atenuando-se conforme se avança para S.

Por intermédio da prospeção eletromagnética com os condutivímetros EM31 e EM34, foi possível estabelecer as principais zonas de fraturas existentes no local, bem como compreender quais as formações geológicas e os domínios potencialmente mais produtivos a nível hidrogeológico, devido às elevadas anomalias originadas nestas zonas. Estas formações apresentam valores de condutividade elétrica entre os 12 e os 28 mS/m, localizando-se sobretudo na margem direita da ribeira. Aponta-se à realização de furos para captação de água subterrânea nestas zonas com anomalias elevadas, possibilitando o aumento da produtividade da captação a jusante, contudo é

recomendado uma gestão adequada destas massas de água subterrânea, de maneira a não levar à sobre-exploração e esgotamento das mesmas.

Devido à falta de estudos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos de natureza local, e de pontos de mediação e monitorização dos parâmetros hidrogeológicos (níveis piezométricos, parâmetros físico-químicos da água, etc), não foi possível realizar uma caracterização mais pormenorizada da hidrodinâmica subterrânea da bacia. No entanto, com base nos dados da prospeção geofísica realizada, bem como, nos elementos geomorfológicos, geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos recolhidos na bibliografia e observados no campo, foi possível realizar um modelo hidrogeológico conceptual da região. Este modelo aponta para a ocorrência de recarga aquífera proveniente da infiltração da precipitação atmosférica e da circulação subterrânea pela rede de fraturas, e a descarga através de processos induzidos (furos, poços, etc) e de processos naturais como evapotranspiração, escoamento superficial ("run off"), e por drenância subterrânea para unidades aquíferas como os depósitos aluvionares e os quartzitos do Ordovícico. A unidade aquífera dos quartzitos revela uma boa produtividade, dado a estar bastante fraturada permitindo a circulação e armazenamento hídrico profundo.

Os valores da Temperatura, CE (condutividade elétrica) e pH quantificados na água captada na ETA da Rib^a de Alge apontam para uma água que deriva maioritariamente da precipitação atmosférica e do escoamento superficial; contudo, os valores do pH apontam para um importante tempo de residência nas aluviões e/ou para uma eventual mistura com massas de água subterrânea mais profundas provenientes de falhas e descontinuidades locais.

Relativamente à quantificação dos volumes hídricos subterrâneos locais, utilizaram-se os elementos geomorfológicos e topográficos locais e métodos geométricos simples, para avaliar as reservas hídricas implantadas nos 3 depósitos aluvionares locais. Todos os depósitos apresentam importantes reservas hídricas e uma variação sazonal significativa. O depósito aluvionar que apresentou uma maior capacidade de armazenamento foi precisamente aquele onde se localiza a captação-ETA de Ribeira de Alge, denotando que a reserva reguladora deste depósito apresenta um valor considerável de 732,2 m³ para uma porosidade eficaz média de 15%. Os depósitos aluvionares intermédio e montante apresentam valores de reserva reguladora de 419,4 e de 280,7 m³ para a mesma porosidade eficaz. Estes valores podem, em caso de necessidade de exploração contribuir para aumentar a produtividade da captação da ETA, nomeadamente nos meses de verão, não prejudicando o meio físico envolvente.

6.2. Recomendações

Tendo em consideração as informações exibidas e as análises efetuadas, recomenda-se: (1) a realização de mais estudos geológicos e hidrogeológicos, de forma a caracterizar mais a região estudada e assim compreender de forma mais aprofundada os recursos aqui existentes; (2) estabelecer uma rede piezométrica da área, de maneira a caracterizar as unidades aquíferas e a hidrodinâmica profunda ao longo da bacia; (3) realizar mais estudos geofísicos nesta e em outras zonas, através de outros métodos levando a uma caracterização mais pormenorizada das massas de água subterrâneas.

Dando importância a todos estes fatores, é necessário ter em conta os agentes de risco das massas de águas regionais, propondo a realização de estudos do ponto de vista ambiental, de modo a ser realizada uma boa gestão dos recursos hídricos aqui presentes.

As conclusões do presente estudo recomendam ainda que sejam considerados como principais fatores que ameaçam a sustentabilidade das massas de água superficiais e subterrâneas locais os seguintes:

Fatores Naturais:

- Contaminação dos solos por fatores naturais, condicionando a infiltração e assim a recarga aquífera, afetando a qualidade e a quantidade de água infiltrada;
- Períodos de seca de maior duração.

Fatores Antropogénicos:

- Uso intensivo de pesticidas, fertilizantes e herbicidas nas atividades agrícolas;
- Sobre-exploração de águas subterrâneas (furos, poços);
- Atividades industriais e agropecuárias sem controlo de efluentes;
- Adversidades na rede de saneamento, ou construção de fossas sépticas sem adequada impermeabilização;
- Alterações climáticas provocadas pelo homem, levando à destruição da camada de ozono, proporcionando uma variação irregular da temperatura e precipitação atmosférica, condicionando a recarga aquífera.

No sentido de prevenir todas os problemas referidos, apresentam-se algumas recomendações para proteger as massas de águas e os recursos hídricos locais:

- Evitar a sobre-exploração das massas de água superficiais e subterrâneas, diversificando as massas de água a utilizar;
- Limitar as atividades que utilizem químicos e fertilizantes, junto a zonas de recarga aquífera;
- Estabelecer perímetros de proteção em zonas de recarga aquífera;
- Monitorizar descargas de efluentes para linhas de água, e controlo da rede sanitária;
- Utilização de materiais não poluentes e recicláveis e captações e fossas sépticas.

7. Referências bibliográficas

- Almeida, C.; Mendonça, J.J.L.; Duarte, R.S.; Quina, A.P.; Neves, J.R. (2000). Glossário de termos hidrogeológicos. Instituto da água; Centro de Geologia.
- Almeida, C.; Mendonça, J.J.L.; Jesus, M.R.; Gomes, A.J. (2000). Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Lisboa: Centro de Geologia / Instituto da Água.
- APA. (2012). Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo, Relatório Técnico, Parte 2- Caracterização e diagnóstico da região hidrográfica. Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA. (2012). Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo, Repositório de Mapas. Agência Portuguesa do Ambiente.
- ARH-Tejo. (2009). Os aquíferos das bacias hidrográficas do Rio Tejo e das Ribeiras do Oeste – Saberes e Reflexões. Retirado de <https://apambiente.pt>
- Azevedo, J.M.; (2019). Cadernos teórico-práticos de apoio à disciplina de Recursos Hídricos, do Mestrado em Geociências. Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.
- Cabral, J.; Ribeiro, A.; (1989). Carta Neotectónica de Portugal Continental. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Cabral, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. Memórias de Instituto Geológico e Mineiro, nº31, Lisboa.
- Castilho, A.M.A. (2008). Lagoas de Quiaios – Contribuição para o seu conhecimento geológico e hidrogeológico. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, pp. 113-183, 361-443.
- Chaminé, H.I.; Gama Pereira, L.C.; Fonseca, P.E.; Noronha, F.; Lemos de Sousa, M.J.; (2003). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto - Albergaria-a-Velha – Coimbra – Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña. Volume 28.
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional [CCDR], (2019). Acedido a 10 de dezembro de 2019, disponível em: <https://www.ccdrc.pt>

- Costa, W.D. (1998). Avaliação de reservas, potencialidade e disponibilidade de aquíferos. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.
- Diário da República I. Série-A n.º 222 de 22 de setembro de 1999. Decreto-Lei n.º 382/99. Ministério do Ambiente. Acedido 13 de outubro de 2020, disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/559021>
- Félix, F. (2009). Caracterização Hidrogeológica e Geofísica do flanco Este do Sinclinal do Buçaco (Midões-Penacova). Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, pp. 50-71.
- Ferreira, A.M.P.J, (2000). "Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Fatores de Variação Regional" Universidade de Aveiro. Departamento de Geociências, 2000, pp. 19-47.
- Fetter, C. W. (2001). Applied Hydrogeology (4th Ed.). London: Pearson Education International.
- Figueiredo, F.P.O.; Catarino, L.M.G.; (2010). Prospecção de Recursos Hídricos em Meio Cristalino por Métodos Geofísicos. Casos de Estudo da Senhora do Castelo (Mangualde). 11º Seminário sobre águas subterrâneas.
- Figueiredo, F.P.O.; (2005). Estudo de uma pluma de contaminação pelo método de prospecção eletromagnético no domínio frequência – Geria, Coimbra. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Figueiredo, F.P.O.; Catarino, L.M.G.; Cruz, R.J.L.; (2008). Prospecção Geofísica Aplicada ao Estudo da Contaminação Provocada por uma Antiga Lixeira – Cidreira, Coimbra. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Figueiredo, F.P.O.; Catarino, L.M.G.; Azevedo, J.M.M.; Rodrigues, N.V.; Serafino, J.F.C.; (2010). Prospecção Geofísica Aplicada ao Estudo Aquífero das Corgas, Sazes do Lorvão (Penacova). 10º Congresso da Água – Marcas d'Água.
- Freeze, A.R.; Cherry, J.A.; (1979). Groundwater – Ed. Prentice-Hall, NY, p. 604.
- Freitas, I.; (2017). Hidrogeologia de Maciços Carbonatados: o caso de estudo de pedreira calcária em Maceira, Leiria. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, pp. 51-80.

- Gama Pereira, L.C.; (1987). Tipologia e evolução da sutura entre a ZCI e a ZOM no sector entre Alvaiázere e Figueiró dos Vinhos (Portugal Central). Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, pp. 17-320.
- Guerreiro, S., Chambel, A., & Duque, J. (1998). Caracterização Hidroquímica das Águas Subterrâneas das Rochas Cristalinas dos Concelhos de Montemor-o-Novo e Vendas Novas- Nota Prévia. Congresso Água, pp. 3-9.
- Horizonte de Projeto. (2015). Delimitação do Perímetro de Proteção da Captação de Água Subterrânea para Abastecimento Público da Câmara Municipal de Ansião em Ribeira de Alge. Consultores em Ambiente e Paisagismo, pp. 5-34.
- Huvi, J.; (2019). Estratigrafia e hidrogeologia do depósito deltaico do Rio Catumbela (Angola). Dissertação de Doutoramento, Universidade de Coimbra, pp. 150-153.
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera [IPMA], (2020). O clima de Portugal. Acedido a 1 de janeiro de 2020, disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>
- Keary, P. e Brooks, M. (1984). An Introduction to geophysical exploration. Geosciences texts, Volume 4, Blackwell Scientific Publications, Oxford, Inglaterra.
- Kirsch, R.; (2006). Groundwater Geophysics – A Tool for Hydrogeology, 2nd Edition.
- Kullberg, J.C.; Rocha, B.R.; Soares.; A.F.; Rey, J.; Terrinha, P.; Azerêdo, A.C... Nogueira, C.R. (2013). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. Escolar Editora, pp. 317-368.
- Laboratório Nacional de Energia e Geologia [LNEG], (2019) – Água Subterrânea, Conhecer para Proteger e Conservar. Acedido a 30 de setembro de 2020, disponível em: <http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/488/1/27629.pdf>
- Naime, R.; (2011). Águas superficiais. Acedido a 8 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2011/03/10/as-aguas-superficiais-artigo-de-roberto-naime/>
- Neves, P.; (2017). Hidrogeologia e Avaliação dos Recursos Hídricos no Setor Sudeste do Concelho da Mealhada. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, pp. 74-123.
- Plano Diretor Municipal Figueiró dos Vinhos, (2015). Estudo do Ambiente, pp. 20-76.

- Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios de Figueiró dos Vinhos, (2014). Diagnóstico – Informação de base – Caderno I. Município de Figueiró dos Vinhos, pp. 3-36.
- Proença Cunha, P.; Antunes Martins, A.; (2004). Principais aspetos geomorfológicos de Portugal Central, sua relação com o registo sedimentar e a relevante importância do controlo tectónico. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Rebelo, F.; Cunha, L.; (1992). O Relevo de Portugal. Disponível em: https://www.academia.edu/425651/O_relevo_de_Portugal
- Ribeiro, A.; Antunes, M. T.; Ferreira, M. R.; ROCHA, R. B.; Soares, A. F.; Zbyszewski, G.; Almeida, F. M.; Carvalhos, D.; Monteiro, J. H. (1979). Introduction à géologie générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal da Direção-Geral de Geologia e Minas, Lisboa.
- Singhal, B. B. S.; Gupta, R. P.; (1999). – Applied Hydrogeology of fractured Rocks, London: Kluwer Academic Publishers.
- Sistema nacional de informação dos recursos hídricos [SNIRH], (2020). Atlas da Água. Acedido a 6 de janeiro de 2020, disponível em: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=4&idItem=2>
- Soares, A. F.; Marques, J.F.; Sequeira, A. J. D.; Rocha, R. J. D.; Sousa, M. B.; Pereira, E.; SANTOS, J. R.; (2005). Folha 19-D da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1/50 000. Serviços geológicos de Portugal, Lisboa.
- Soares, A. F.; Marques, J.F.; Sequeira, A. J. D.; (2007). Notícia explicativa da Folha 19-D da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1/50 000. Serviços geológicos de Portugal, Lisboa, pp. 5-20.
- Teixeira, C.; (1981). Geologia de Portugal, Pré-Câmbrico e Paleozoico. Vol. 1, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Teodósio, A.F.; (1970). Relatório final sobre os trabalhos executados nos aluviões da Ribeira de Alge para captação da água com vista ao abastecimento de Avelar e outras povoações do concelho de Ansião. Espinho.
- United States Geological Survey's [USGS]. Water Science School (2020). Acedido a 8 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/how-much-water-there-earth>