



MARIANA FERREIRA BRANCO  
Licenciada em Engenharia Geológica

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES EVOLUTIVAS  
DE SISTEMAS AQUÍFEROS PERTENCEN-  
TES AOS SECTORES  
CENTRO E SUL DA MARGEM ESQUERDA  
DA BACIA DO TEJO-SADO

MESTRADO EM ENGENHARIA GEOLÓGICA  
Universidade NOVA de Lisboa  
Setembro, 2022





# ANÁLISE DAS CONDIÇÕES EVOLUTIVAS DE SISTEMAS AQUÍFEROS PERTENCENTES AOS SECTORES CENTRO E SUL DA MARGEM ESQUERDA DA BACIA DO TEJO-SADO

**MARIANA FERREIRA BRANCO**

Licenciado em Engenharia Geológica

**Orientadora:** Sofia Verónica Trindade Barbosa,  
Professora Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

**Coorientadores:** João Manuel Xavier Matos  
Técnico Superior, Unidade de Recursos Minerais e Geofísica, Laboratório Nacional de Energia Geologia, I.P.

## **Júri:**

**Presidente:** Maria Manuela Simões Ribeiro,  
Professora Auxiliar com agregação, Universidade NOVA de Lisboa

**Arguentes:** António Alberto Chambel Gonçalves Pedro,  
Professor Auxiliar, Universidade de Évora

**Orientador:** Sofia Verónica Trindade Barbosa,  
Professora Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

MESTRADO EM ENGENHARIA GEOLÓGICA

Universidade NOVA de Lisboa  
Setembro, 2022





## **Um Título de Tese Impressionante e com uma Mudança de Linha Forçada**

Copyright © <Nome do Autor>, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Este documento foi criado com o processador de texto Microsoft Word e o template NOVAThesis Word.



Dedico este trabalho à pessoa mais resiliente e humilde que conheci, pois foi da tua força que cheguei onde estou, obrigada minha querida bisavó.



## AGRADECIMENTOS

No final desta etapa acadêmica não são meras palavras que conseguem descrever nesta páginas o longo percurso que fiz, as aventuras e desafios que surgiram, ao longo do tempo e do espaço, que me moldaram de modo que todos os dias tornasse uma melhor versão de mim mesma. Mas não foi uma caminhada feita a só, mas sim com aqueles que amo, adoro e respeito, pois sem eles talvez não estaria onde estou.

Começo por agradecer à minha orientadora Professora Doutora Sofia Barbosa por ter desafiado com este tema bem como as técnicas e problemáticas associada à mesma, e por me ter ajudado e paciência e em todo este percurso. Por todo o apoio, disponibilidade e amizade os meus sinceros agradecimentos.

Ao meu co-orientador Doutor João Matos pela disponibilidade em ajudar neste desafio e pelo acolhimento que recebi em Aljustrel, bem como pelo conhecimento transmitido.

À Catarina, David, Dione, Gonçalo, João, José Maria, José Francisco, Miguel e Raquel, pela amizade e carinho que me transmitiram ao longo deste tempo, bem pela tenacidade e persistência de tentarem que eu saísse de casa para divertir-me durante esta última fase (p.s.: acreditem não foi fácil).

Ao meu querido grupo de amigos, Inês, Eduarda, David, Sandro e Francisco pela amizade, carinho que perdura a mais de dez anos.

A todos os professores do departamento que de alguma forma me ajudaram ao longo de todo o percurso académico, tanto pela vasta transmissão de conhecimentos como pela disponibilidade.

À Eduarda, Fátima e Sandra pela amizade, carinho, paciência e ajuda que me deram durante a minha formação académica, pelos concelhos, conversas e gargalhadas.

Por último, e não menos importante, quero agradecer à minha família. Desde início sempre me apoiaram até nos momentos mais sensíveis e nunca desistiram de mim mesmo quando eu própria fiz. Quero fazer um especial agradecimento à minha mãe por ter estado comigo sempre no momento mais difícil da minha vida, e por acreditar e mim e de estar sempre ao meu lado.

A todos aqueles que de alguma forma me ajudaram ao longo do percurso académico e que aqui não foram mencionados, os meus agradecimentos.



*"Sic Parvis Magna."* (Sir. Francis Drake).





## RESUMO

Nos últimos anos, o efeito conjugado das alterações climáticas com o desenvolvimento e ocupação territorial antrópicos, tem conduzido em certos locais de Portugal Continental a deficiências hídricas que começam a afetar os sistemas aquíferos, particularmente nas proximidades de grandes áreas urbanas, agrícolas e turísticas. Assim, pretende-se com o presente estudo compreender e avaliar a evolução nos últimos 20 anos dos sistemas aquíferos pertencentes aos sectores Centro e Sul da Margem Esquerda da Bacia do Tejo-Sado, de modo a poder retirar ilações sobre possíveis efeitos de depleção.

Analizou-se a evolução dos níveis piezométricos, recorrendo-se a métodos de análise estatística multivariada (FAMD, K-means e HCPC) e análise de tendências (Mann-Kendall e *Innovative trend*) de modo a determinar possíveis padrões evolutivos. Procedeu-se, igualmente a uma análise de fácies hidroquímicas, que permitiu avaliar a sua ocorrência.

Procedeu, ainda, à construção do modelo de escoamentos no sector sul, recorrendo-se a métodos numéricos de diferenças finitas (MODFLOW). Com a execução do modelo pretendeu-se estabelecer comparações entre horizontes temporais distintos e compreender até que ponto os fatores ambientais e antrópicos são os principais motores que condicionam os resultados de modelação obtidos, ou se as condições geológicas têm um papel preponderante, no escoamento e na evolução dos dados.

**Palavas chave:** Bacia Tejo-Sado, Análise espaço-temporal de tendências, FAMD, K-means, HCPC, Innovation trend, Mann-Kendall, PMWIN



## ABSTRACT

In recent years, the combined effect of climate change with anthropic development and territorial occupation has led to water shortages in certain parts of mainland Portugal that are beginning to affect aquifer systems, which is particularly noticeable in the vicinity of large urban areas or exploitation for tourist or agricultural purposes. Thus, the present study intends to understand and evaluate the evolution in the last 20 years of the aquifer systems belonging to the Central and Southern sectors of the Left Bank of the Tagus-Sado Basin, to conclude possible depletion effects.

The evolution of piezometric levels was analysed using multivariate statistical analysis methods (FAMD K-means and HCPC) and trend analysis (Mann-Kendall and Innovation trend) to determine the existence of evolutionary patterns. An analysis of hydrochemical facies was also carried out, which made it possible to assess their way of occurrence.

It also proceeded with the construction of a groundwater flow model in the southern sector, using the numerical method of finite differences (MODFLOW). The execution of the model was intended to establish comparisons between different time horizons and to understand to what extent the environmental and anthropic factors are the main drivers that condition the obtained modeling results or if the geological conditions have a preponderant role in the flow and time-space evolution of the data.

**Keywords:** Tejo-Sado Basin, Spatial-temporal tendency analysis, FAMD, K-means, HCPC, Innovation trend, Mann-Kendall, PMWIN



# ÍNDICE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                          | <b>1</b>  |
| 1.1      | Objetivo .....                                   | 4         |
| 1.2      | Organização do documento .....                   | 5         |
| <b>2</b> | <b>ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....     | <b>7</b>  |
| 2.1      | Enquadramento Geográfico .....                   | 7         |
| 2.2      | Enquadramento Geológico.....                     | 8         |
| 2.2.1    | Evolução das bacias durante o Cenozoico .....    | 9         |
| 2.2.2    | Tectónica .....                                  | 11        |
| 2.2.3    | Estrutura .....                                  | 12        |
| 2.3      | Enquadramento hidrológico e hidrogeológico ..... | 14        |
| 2.3.1    | Estuário do Tejo e do Sado .....                 | 14        |
| 2.3.2    | Clima .....                                      | 15        |
| 2.3.3    | Sistema aquífero do Tejo, Margem Esquerda.....   | 16        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA E FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....  | <b>19</b> |
| 3.1      | Estratégia .....                                 | 19        |
| 3.2      | Fundamentos Teóricos.....                        | 21        |
| 3.2.1    | Estatísticos - Análise multivariada.....         | 21        |
| 3.2.2    | Análise de tendências .....                      | 23        |
| 3.3      | Modelação hidrogeológica .....                   | 27        |
| <b>4</b> | <b>ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS</b> .....       | <b>31</b> |
| 4.1      | Piezometria.....                                 | 32        |
| 4.1.1    | Abordagem inicial .....                          | 32        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.2      | Análise dos padrões evolutivos.....                   | 35        |
| 4.2.1    | Análise multivariada.....                             | 35        |
| 4.2.2    | Análise de tendências .....                           | 45        |
| 4.3      | Análise química .....                                 | 50        |
| <b>5</b> | <b>CONSTRUÇÃO DO MODELO DE ESCOAMENTOS.....</b>       | <b>57</b> |
| 5.1      | Modelo de conceptual de escoamentos.....              | 58        |
| 5.1.1    | Caracterização das unidades hidrogeológicas .....     | 58        |
| 5.1.2    | Construção do modelo.....                             | 62        |
| 5.1.3    | Análise de sensibilidade e calibração do modelo ..... | 64        |
| 5.2      | Análise e interpretação do modelo de escoamento ..... | 70        |
| 5.2.1    | Análise da situação inicial .....                     | 70        |
| 5.2.2    | Avaliação da evolução dos dados .....                 | 72        |
| <b>6</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                      | <b>77</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1 - Gráficos de evolução climatológica durante 30 anos relativos à temperatura (a) e precipitação (b) (IPMA, 2022a).....  | 2  |
| Figura 1.2 - Armazenamento de águas subterrâneas em outubro de 2019 e abril e 2020 (APA, 2021).....  | 3  |
| Figura 1.3 - Armazenamento de águas subterrâneas em outubro de 2020 e abril e 2021 (APA, 2021).....  | 3  |
| Figura 2.1 - Enquadramento da área de estudo.....  | 7  |
| Figura 2.2 - Correlações estratigráficas entre as unidades cenozóicas existentes no sector em estudo e áreas de sedimentação adjacentes (Ressurreição et al., 2021)..... | 9  |
| Figura 2.3 - Representação geográfica dos acidentes tectónicos do sector sul da área de estudo (Matos, 2021).....  | 14 |
| Figura 2.4 - Representação dos sistemas aquíferos referentes á Bacia do Tejo-Sado.....   | 16 |
| Figura 2.5 - Modelo conceptual do modelo de escoamentos da bacia (Mendonça, et al. 2009).....  | 17 |
| Figura 3.1 - Fluxograma das etapas da dissertação.....   | 20 |
| Figura 3.2 - Tendências parciais diferentes no modelo de <i>Innovative trend</i> .....   | 27 |
| Figura 3.3 - Representação do esquema de análise do <i>Innovative trend</i> .....  | 27 |
| Figura 4.1 - Localização dos furos e poços utilizados para o tratamento de dados.....  | 31 |
| Figura 4.2 - Variação do nível piezométrico ao longo das décadas; a) Década 90-00; b) Década 00-10; c) Década 10-20; d) Anos >2020 (definidas à mesma escala);.....      | 32 |
| Figura 4.3 - Gráfico da variação da profundidade do nível de água total registada aos longo dos últimos 40 anos.....   | 33 |
| Figura 4.4 - Diferença percentual da variação da profundidade do nível de água.....  | 34 |
| Figura 4.5 - Gráfico de Pareto, que representa o grau de importância de cada Dimensão.....   | 36 |
| Figura 4.6 - Projeção das variáveis quantitativas referentes ao eixo Dim1 e Dim2.....  | 36 |
| Figura 4.7 - Distribuição da variável qualitativa segundo as Dim1 e Dim2.....  | 37 |
| Figura 4.8 - Representação do cos2 na população dos indivíduos.....  | 38 |
| Figura 4.9 - Representação do <i>contribution</i> relativa dos indivíduos.....   | 39 |
| Figura 4.10 - Distribuição dos valores do scores obtidos face às duas dimensões provenientes da análise FAMD.....  | 40 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 4.11 - Representação da análise de 6 clusters.....  | 41 |
| Figura 4.12 - Representação da análise de 10 <i>clusters</i> .....   | 42 |
| Figura 4.13 - Representação da análise de 11 clusters.....   | 43 |
| Figura 4.14 - Representação dos dendrogramas da análise HCPC para valores de corte da ordem 0,75 (a) e de 0,25 (b) .....   | 44 |
| Figura 4.15 - Projeção gráfica de 10 clusters obtidas pelas técnicas K-means (a) e da análise HCPC .....   | 45 |
| Figura 4.16 - Distribuição espacial dos valores do <i>slope</i> da área de estudo.....   | 48 |
| Figura 4.17 - Representação gráfica da análise <i>Mann-Kendall</i> .....   | 49 |
| Figura 4.18 - Diagrama de Piper .....  | 51 |
| Figura 4.19 - Diagramas Stiff representativo de cada fácies hidroquímica: a) fácies continentais; b) fácies continentais sob influência marinha; c) fácies de transição; d) fácies de influência marinha; .....  | 53 |
| Figura 4.20 - Distribuição das fácies hidroquímicas na área de estudo .....  | 54 |
| Figura 5.1 - Definição da área de estudo na construção do modelo de escoamentos ....   | 57 |
| Figura 5.2 - Sondagem SD.MS1 Monte Sobral no trecho (63.3-310,5m), Litoteca de Aljustrel, LNEG: a) 63,3 m - 71,95 m - indícios de alterabilidade aos 70.49 m correspondente a processos de calcificação; b) 85,05 m - 88,96 m - fracturação subvertical provavelmente devido a descompressão; c) 88,96 - 96,06 m - esmagamento e alteração da rocha, salientando-se a ausência de matriz, devido a provável percolação de água; d) 96,06 m - 98,85 m - paleossolo com evidências de paleo-alteração meteórica, marcando a interface Cenozoico/Paleozoico, a qual corresponde a uma inconformidade ou discordância angular; e) 98,85 m - 124,76 m - xisto alterado, com planos de clivagem S1 subverticais..... | 60 |
| Figura 5.3 - Modelo conceptual do escoamento (não se encontra à escala).....   | 61 |
| Figura 5.4 - Malha da área de estudo .....   | 62 |
| Figura 5.5 - Cortes transversais do modelo de escoamento nas direções S-N e W-E. ....  | 63 |
| Figura 5.6 - Variação da recarga face às informações da Carta de Ocupação dos Solos  | 64 |
| Figura 5.7 - Gráfico da comparação dos dados obtidos com os dados provenientes do modelo .....   | 67 |
| Figura 5.8 - Condições do modelo de escoamentos na camada 1 (a e b) e na camada 2 e 3 (c e d); amarelo: 15 m; vermelho: 20 m; verde: 25 m; azul-escuro (valores de piezometria provenientes da Krigagem).....  | 68 |
| Figura 5.9 - Distribuição das linhas isopiezométricas e sentidos dos fluxos subterrâneos na primeira camada (a) e segunda camada (b) do modelo original (calibração), e com a respetiva localização furos (marcados a verde). .....  | 71 |
| Figura 5.10 - Localização das zonas de falha tendo por base na Figura 2.3 (a) e o respetiva distribuição das linhas isopiezométricas e sentidos dos fluxos subterrâneos escoamento (b), e com a respetiva localização furos (marcados a verde) e falhas (preto). .....   | 71 |
| Figura 5.11 - Distribuição das linhas isopiezométricas na segunda camada para o ano 2011, sem zonas de falhas (a) e com zonas de falha (b), e com a respetiva localização furos (marcados a verde) e falhas (a preto).....   | 72 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 5.12 - Distribuição das linhas isopiezométricas na segunda camada para o ano 2015 sem zonas de falhas (a) e com zonas de falha (b), e com a respetiva localização furos (marcados a verde) e falhas (a preto)..... | 73 |
| Figura 5.13 - Distribuição das linhas isopiezométricas na segunda camada para o ano 2020 sem zonas de falhas (a) e com zonas de falha (b), e com a respetiva localização furos (marcados a verde) e falhas (a preto)..... | 74 |
| Figura 5.14 - Registo das diferenças dos valores de piezometria na situação sem falhas, entre os anos 2011 e 2015 (esquerda) e entre os anos 2015 e 2020 (direita). ....  | 75 |
| Figura 5.15 - Registo das diferença dos valores de piezometria na situação com falhas, entre os anos 2011 e 2015 (esquerda) e entre os anos 2015 e 2020 (direita). ....   | 76 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 4.1 - Valor médio da profundidade do nível de água desde 2006 a 2021 .....                 | 36 |
| Tabela 4.2 - Dados dos scores referentes à análise FAMD .....                                     | 39 |
| Tabela 4.3 - Resumo das características de cada cluster .....                                     | 43 |
| Tabela 4.4 - Tabela resumo das características de cada cluster proveniente da análise HCPC .....  | 45 |
| Tabela 4.5 - Resultados da análise <i>Innovative Trend</i> .....                                  | 47 |
| Tabela 5.1 - Características das formações geológicas com potencial hidrogeológico na região..... | 59 |
| Tabela 5.2 - Propriedades hidrogeológica das camadas do modelo .....                              | 69 |
| Tabela 5.3 - Tabela resumo final da propriedades hidrogeológica do modelo .....                   | 70 |

## SIGLAS

|                |   |
|----------------|---|
| <b>APA</b>     | Agência Portuguesa do Ambiente.   |
| <b>FAMD</b>    | <i>Factorial Analyst of Mixed Data</i>                                    |
| <b>INE</b>     | Instituto Nacional de Estatística   |
| <b>IPCC</b>    | <i>Intragovernmental Panel on Climate Change</i>                          |
| <b>IPMA</b>    | Instituto Português do Mar e da Atmosfera                                 |
| <b>HCPC</b>    | <i>Hierarchical Clustering Principal Components</i>                       |
| <b>LNEC</b>    | Laboratório Nacional de Engenharia Civil                                  |
| <b>LNEG</b>    | Laboratório Nacional de Energia Geologia                                  |
| <b>MK</b>      | <i>Mann-Kendall Test</i>  |
| <b>MODFLOW</b> | <i>Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model</i> |
| <b>MCA</b>     | <i>Multiple Correspondence Analysis</i>                                   |
| <b>PCA</b>     | <i>Principal Component Analysis</i>                                       |
| <b>PMWIN</b>   | Processing Modflow for Windows  |
| <b>SNIRH</b>   | Sistema Nacional de Recurso Hídricos                                      |
| <b>ONU</b>     | Organização das Nações Unidas   |
| <b>USGS</b>    | <i>United States Geological Survey</i>                                    |



## INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, os efeitos das alterações climáticas têm-se acentuado significativamente, levando as grandes potências mundiais a debater, elucidativamente, novas formas de solucionar e contornar, ao máximo, as suas consequências, implicando um novo conceito de gestão e de preservação dos recursos naturais do sistema terrestre. Este conceito encontra-se incluído nos objetivos enunciados pela Organização das Nações Unidas (ONU) para o desenvolvimento sustentável, nomeadamente no 6º Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2022). De acordo com o último relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) os países do sul da Europa encontram-se em risco elevado de seca extrema e com potencial de ocorrência de inundações, com um aumento da temperatura igual ou superior 1.5° C, definido como valor de meta a não ultrapassar (IPCC, 2022). Com o aumento da temperatura, o ciclo hidrológico é afetado e, por consequência, os sistemas aquíferos também. Estes efeitos afetam os sistemas aquíferos do ponto de vista da alimentação e qualidade dos mesmos, em virtude dos condicionamentos associados à taxa de recarga, ao aumento dos efeitos das intrusões salinas e também à variação da concentração de CO<sub>2</sub> dissolvido na água (Novo et al. 2020).

Em Portugal Continental a deficiência hídrica começa a afetar os sistemas aquíferos, situação que se verifica particularmente nas proximidades de grandes áreas urbanas ou de exploração para fins turísticos ou agrícolas. Com base nas informações disponibilizadas pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), ao longo destes últimos 30 anos a temperatura média em Portugal continental aumentou significativamente, correspondendo com uma diminuição acentuada da precipitação, como se pode observar nas Figuras 1.1 e 1.1b.

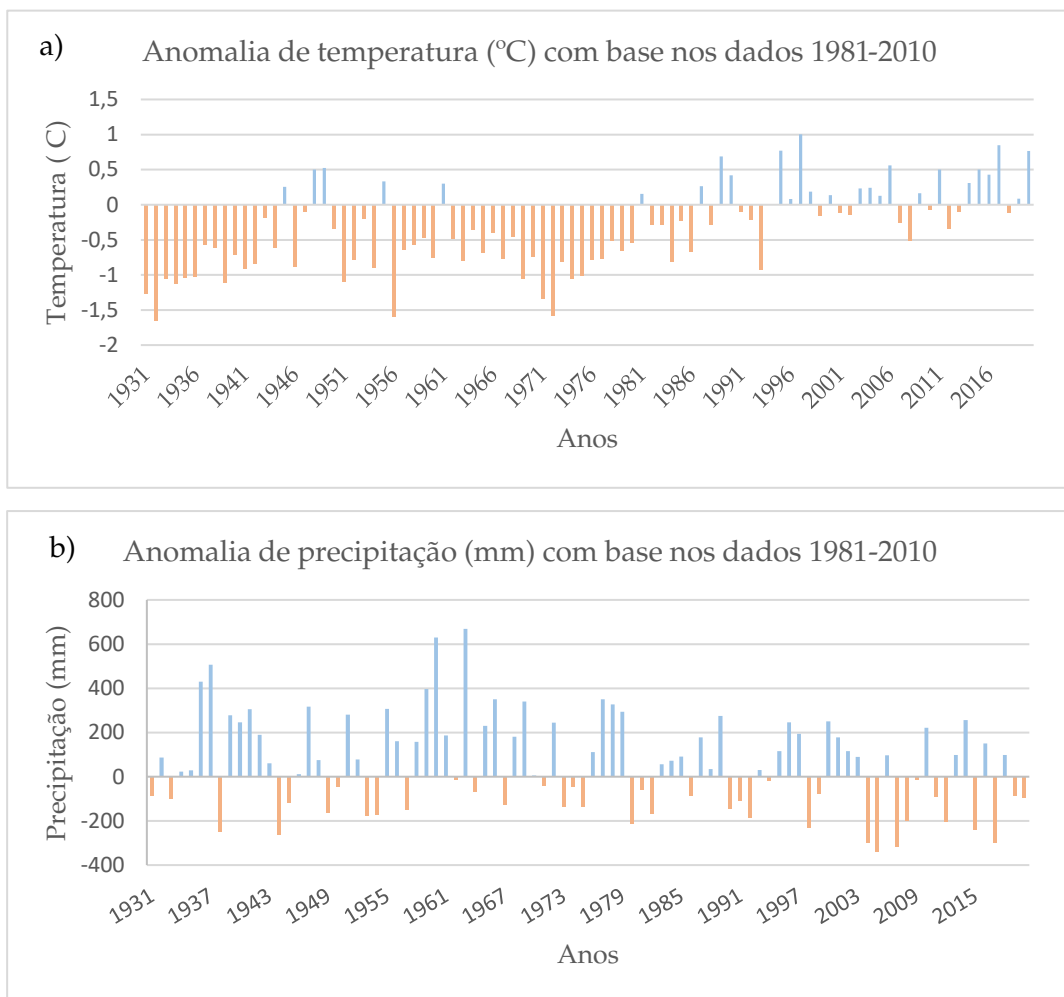


Figura 1.1 - Gráficos de evolução climatológica durante 30 anos relativos à temperatura (a) e precipitação (b) (IPMA, 2022a).

De acordo com o último relatório da Relatório do Estado do Ambiente, produzido pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), referente ao ano 2020/2021, constatou-se que para a análise do percentil 20 dos valores do nível piezométrico, observou-se uma diminuição do armazenamento de água subterrânea nos anos hidrológicos 2019/2020 e 2020/2021, período em que no sector Sul do país se verificou um rebaixamento dos níveis piezométricos em várias bacias com impacto territorial importante (APA, 2021), como se pode observar nas Figuras 1.2 e 1.3.

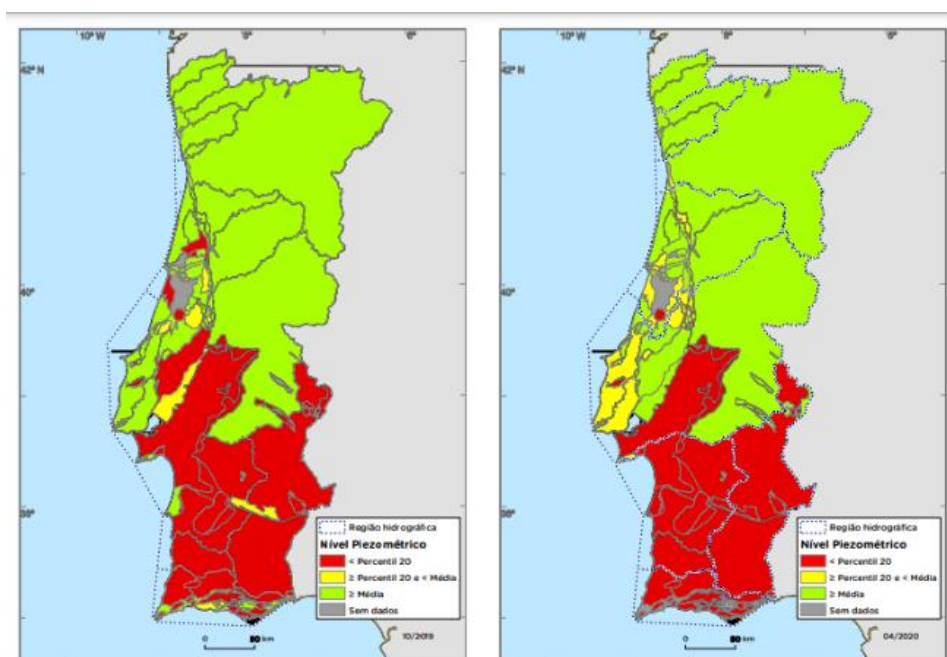


Figura 1.2 - Armazenamento de águas subterrâneas em outubro de 2019 e abril e 2020 (APA, 2021).

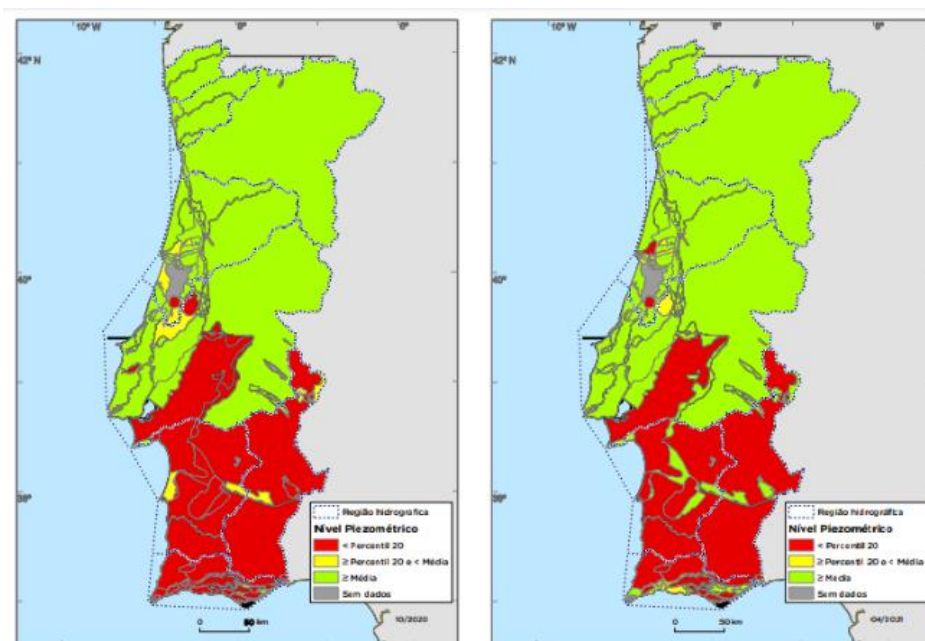


Figura 1.3 - Armazenamento de águas subterrâneas em outubro de 2020 e abril e 2021 (APA, 2021).

Das regiões mais preocupantes, destacam-se a zona Sul da área Metropolitana de Lisboa e o sector da costa oeste alentejana, referente ao distrito de Setúbal, resultante do desenvolvimento socioeconómico da região. Nas últimas décadas, o desenvolvimento urbanístico, industrial e agrícola foi intensificado. Com base nos dados dos censos produzidos pelo Instituto Nacional Estatístico (INE), entre os anos 2011 e 2021, só na área da Península de Setúbal verificou-se uma aumento da população em cerca de 5.24%, acompanhado por um aumento do alojamento doméstico e não doméstico em cerca de 2,31% (INE, 2022). Entre 2010 e 2019, ocorreu um aumento do sector industrial de 4,32% e na produção agrícola, um aumento da área

de extração de cerca de 36,55% ha na região. Estes dados inferem uma necessidade do aumento da sobre-exploração e no consumo dos recursos hídricos (INE, 2011, 2020).

Perante estes indicadores, em 2020, foi desenvolvido o Projeto BINGO: Impactos das Alterações Climáticas nas Águas Subterrâneas no Tejo Inferior pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (LNEC), que teve como objetivo analisar os possíveis cenários da evolução do sistema aquífero da Bacia do Tejo Sado da Margem Esquerda, tendo em conta os efeitos das alterações climáticas e respetivos impactos no ciclo da água a curto prazo (2015 a 2024), com vista a fundamentar a análise de risco dos sistemas aquíferos (Novo et al., 2020). Nesse estudo definiram-se três situações distintas, considerando a recarga como o fator preponderante em regimes estacionários e transientes: I) cenário 1 (R1) recarga elevada; II) recarga baixa (R3); III) situação de seca. Verificaram que para a situação R1 ocorriam subidas do nível piezométrico da ordem dos 5 e a 10 m, em áreas a montante e em áreas sensíveis, respetivamente, enquanto nas restantes situações ocorriam descidas de 2 a 10 m ou até mesmo superiores a 10 m para o cenário R3.

Para o cenário de seca, a situação variava dependendo do tipo de regime, podendo ocorrer descidas entre 1 e 5 m em regime estacionário, enquanto regime transiente poderia ocorrer variações cerca de 20 e 60 m.

Apesar das alterações climáticas serem um fator muito preponderante, não constituem o único fator que influencia à disponibilidade deste recurso. Os fatores naturais, como a heterogeneidade do meio rochoso e terroso dos sistema aquíferos, influenciam os ciclos naturais da água, podendo afetar a qualidade da mesma em todos os domínios (Trabelsi & Zouari, 2019) e os fatores antrópicos como a atividade humana (práticas agrícolas, industriais e resíduos urbanos) também têm grande influência (Akhtar et al., 2021). Deste modo, a análise da disponibilidade de água dos sistemas aquíferos deve ser uma conciliação da informação entre o comportamento hidrogeológico das unidades e das estruturas que os afetam, bem como, das influências antrópicas (extração, contaminação, barreiras, etc.) e os condicionantes ambientais do meio envolvente (massas de água, temperatura e precipitação).

## 1.1 Objetivo

Para realizar uma gestão adequada dos recursos hídricos, é necessário estudar a evolução dos sistemas aquíferos ao longo do tempo, face aos dados piezométricos e aos comportamento hidroquímico das águas, de modo a determinar os fatores (ambientais, antrópicos e geológicas) que têm um papel preponderante em alterações que se registem.

Assim, a presente dissertação visa avaliar a evolução nos últimos 20 anos dos sistemas aquíferos pertencentes aos sectores Centro e Sul da Margem Esquerda da Bacia do Tejo-Sado, de modo a determinar padrões evolutivos e espaciais, através da análise de perfis piezométricos e hidroquímicos caracterizadores, de modo a poder retirar ilações sobre possíveis efeitos de depleção e suas eventuais causas.



Através da compilação da informação analisada e desenvolvida, procedeu-se à construção do modelo de escoamentos a de modo a estabelecer comparações entre horizontes temporais distintos e compreender até que ponto os fatores ambientais e antrópicos são os principais motores que condicionam os resultados de modelação obtidos, ou se as condições geológicas têm um papel preponderante, no escoamento e na evolução dos dados.

## 1.2 Organização do documento

Esta dissertação encontra-se estruturada em 5 capítulos na totalidade.

O Capítulo 2 refere-se ao enquadramento da área de estudo no contexto geográfico, geológico e hidrogeológico, juntamente com as alterações previstas para o local que podem contribuir para o desequilíbrio hidrodinâmico do sistema.

O Capítulo 3 é referente ao estado de arte onde se irá definir e expor as diferentes técnicas a serem utilizadas na concretização da tese referentes ao Capítulos 4 e 5.

O Capítulo 4 é dedicado à análise dos metadados, com o intuito de verificar variações temporais e espaciais dos níveis aquíferos e das propriedades químicas (desequilíbrios hidrodinâmicos) com recurso a técnicas de análise estatística e geoestatística, incluindo a análise de série temporais não paramétricas (*Innovative trend analysis*), análise multivariada fatorial e classificatória (FAMD, *K-Means*, Classificação Hierárquica), permitindo estabelecer distintos padrões e efetuar uma possível identificação das suas causas.

O Capítulo 5 consiste na reconstituição e modelação de superfícies litoestratigráficas relevantes ao processo de interpretação e modelação de escoamentos subterrâneos com cruzamento de dados do tipo “hard” e “soft” nas zonas que suscitaram especial interesse no estudo. Foram integrados dados de natureza cartográfica, de sondagens realizadas para construção de furos de água, dados hidroquímicos e hidrogeoquímicos. Posteriormente, realizou-se a integração da informação respeitante aos distintos subsistemas aquíferos do sector Sul da Margem Esquerda da Bacia do Tejo-Sado num sistema de modelação numérica de escoamentos subterrâneos. Por fim, procedeu-se à análise da evolução da bacia em diferentes cenários tendo em conta o histórico da informação e as evoluções detetadas.

O Capítulo 6 remeterá à reflexão da informação obtida e desenvolvida nos capítulos anteriores.

Além destes capítulos existem 2 anexos, designados de A e B, em que o primeiro se refere aos dados produzidos no capítulo 4, enquanto o anexo B se refere aos dados produzidos no capítulo 5 (perfis geológicos e hidrogeológicos).



## ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Enquadramento Geográfico

A área de estudo representada na Figura 2.1 tem uma extensão de cerca de 2 785,57 km<sup>2</sup> e engloba grande parte do distrito de Setúbal e, ainda, um pouco do distrito de Évora, mais concretamente ao concelho de Vendas Novas. É delimitada a NW pelo estuário do Tejo e norte pelo distrito de Santarém, a oeste pelo Oceano Atlântico Norte, a NE por Vendas Novas, e a Sul de Grândola.

No sector Norte da área em estudo, encontra-se inserida na parte sul da Área Metropolitana de Lisboa que inclui os concelhos de Almada, Alcochete, Barreiro, Montijo, Moita, Palmela, Seixal e Setúbal é caracterizada por forte urbanismo e ocupação industrial. O sector Sul da região investigada é atravessado pelo rio Sado, salientando-se a presença da Reserva Natural do Estuário do Sado, com uma dimensão de o 23971,55 ha (Natura, 2022).

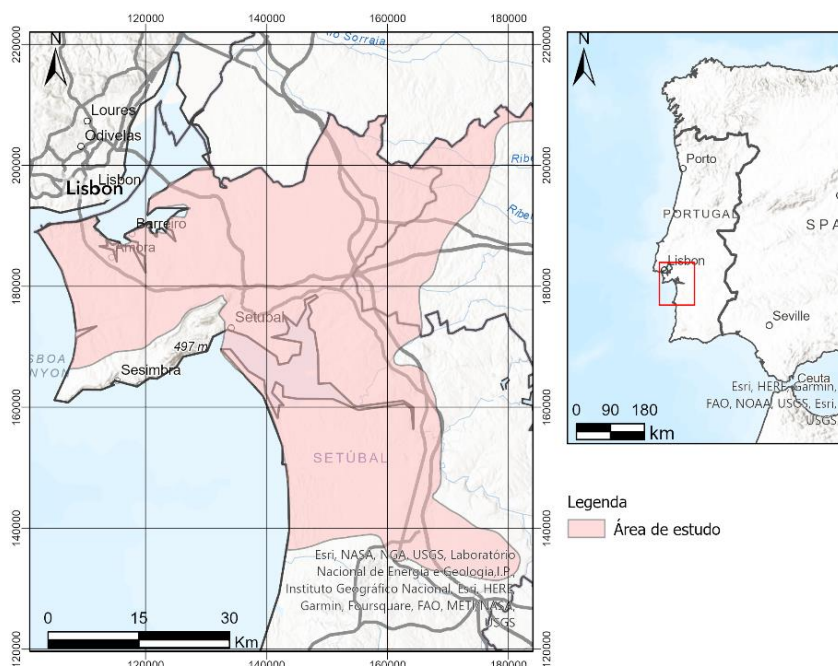


Figura 2.1 - Enquadramento da área de estudo

## 2.2 Enquadramento Geológico

A área em estudo insere-se na unidade da Bacia Cenozoica do Tejo-Sado. A bacia é constituída por depósitos detríticos de origem continental, com intercalações de formações marinhas e salobras correspondentes a máximos transgressivos (Mendonça et al., 2003; Mendonça et al., 2004; Mendonça, 2009).

A Bacia Cenozoica do Tejo-Sado engloba duas subunidades, a Bacia do Baixo Tejo e a Bacia de Alvalade comumente designada por Bacia do Sado. Estas bacias apresentam do ponto de vista estratigráfico e morfológico algumas semelhanças (Mendonça & Cabral, 2003).

A Bacia do Baixo Tejo corresponde a uma extensa e alongada depressão tectónica com direção NNE-SSW que sofreu subsidência controlada por falhas no decurso do Paleogénico, com a colisão da Ibéria com a Eurásia, conseqüentes da orogenia Alpina (Carvalho et al., 1983-85; Cunha, 1992, 2019; Oliveira et al., 1998; Cunha et al., 2009; De Vicente et al., 2011; Oliveira et al., 2013; Matos et al., 2018; Matos, 2021). A Bacia de Alvalade localizada a SSW da Bacia do Baixo Tejo, é delimitada pelo Horst de Senhor Chagas-Valverde, formado por rochas paleozoicas, que foram atravessadas pelo rio Sado durante o Quaternário (Cunha, 2019). Esta é limitada, ainda, pelas falhas de Messejana-Plasencia e por duas falhas reativadas tardias da WNW-ESE, as Falhas de Torra e Grândola, que funcionaram como um sistema de falhas de desligamento, em relação às primeiras fases compressivas do Eoceno Médio (Pimentel, 2002). Na Figura 2.2 encontra-se definida a correlação estratigráfica entre as várias unidades cenozoicas no sector de estudo e áreas de sedimentação adjacentes.

Alguns autores, afirmam que as duas bacias num determinado período tiveram interligadas. Essa informação é corroborada pela datação dos depósitos marítimos, sobrepostos às unidades continentais do Paleogénico (Cunha, 2019). Com essa informação, determinou-se que o Horst de Senhor das Chagas-Valverde, funcionou como uma barreira durante a fase de enchimento da bacia, em que no sector Norte, onde se depositaram os sedimentos do Serravaliano Superior até Tortoniano Inferior, enquanto no sector Sul depositaram-se sedimentos do Tortoniano Superior e Messiano, permitindo, assim, a divisão da bacia (Antunes e Mein 1989, citado por Cunha, 2019).

Na Bacia do Baixo Tejo distinguem-se três sectores individualizáveis em termos de enchimento e de evolução geológica, sendo que o sector distal, o de maior interesse para o estudo, localizado a SW, em que a variação litológica é significativa, referentes as regiões de Lisboa e da Península de Setúbal, mais próximo da ligação ao Atlântico (Pais et al., 2013).

Na Bacia de Alvalade o enchimento é único, isto é, não apresenta individualização. O enchimento da bacia foi controlado pela reativação das falhas tardi-variscas, em resultado de episódios de convergência estimulada pela Orogenia Alpina. Durante o Miocénico Inferior a

Médio, o enchimento da bacia foi interrompido, como resultado do levantamento do horst de Senhor das Chagas-Valverde, retomando novamente no Messiano (Pais et al, 2013).

| Erat./Era<br>Syst./Per. | Series/<br>Epoch | Stage/<br>Age | Ma            | Depositional<br>sequences | Mammal<br>Zone | Lower Tagus Basin |                                       | Lower Tagus Basin<br>meridional sector<br>and Coastal Alentejo | Alvalade Basin        | UBS<br>(Cunha, 1992) |    |  |  |
|-------------------------|------------------|---------------|---------------|---------------------------|----------------|-------------------|---------------------------------------|--|-----------------------|----------------------|----|--|--|
|                         |                  |               |               |                           |                | Lisbon-Almada     | Setúbal Peninsula<br>western littoral |  |                       |                      |    |  |  |
| Cenozoic                | Quat.            | Holocene      |               |                           |                |                   | Alluvium                              | Alluvium Eolian sands  | Alluvium Eolian sands |                      |    |  |  |
|                         |                  | Pleistocene   | U. Upper      | 0,0117                    |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               | M. Chibanian  | 0,129                     |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               | L. Calabrian  | 0,774                     |                |                   |                                       |  |                       |                      | 14 |  |  |
|                         | Neogene          | Pliocene      | L. Gelasian   | 1,80                      |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               | U. Piacenzian | 2,58                      |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  | Miocene       | L. Zanclean   | 3,60                      |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               | Messinian     |                           | 5,333          |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               |               |                           | 7,246          |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               |               | U. Tortonian              |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               | Serravalian   |                           | 11,63          |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               |               | M. Langhian               |                | 13,82             |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               |               |                           |                | 15,97             |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               |               | L. Burdigalian            |                | 20,44             |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               |               |                           |                | 23,03             |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               |               |                           |                | 27,82             |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  | 33,9          |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  | 37,71         |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  | 41,3          |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         | Oligocene        | U. Chattian   |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
| L. Rupelian             |                  |               |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
| U. Priabonian           |                  |               |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
| M. Bartonian            |                  |               |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
| Eocene                  | L. Lutetian      |               |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         | L. Ypresian      |               |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         | U. Thanetian     |               |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         | M. Selandian     |               |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
| Paleocene               | L. Danian        |               |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |
|                         |                  |               |               |                           |                |                   |                                       |  |                       |                      |    |  |  |

Figura 2.2 - Correlações estratigráficas entre as unidades cenozóicas existentes no sector em estudo e áreas de sedimentação adjacentes (Ressurreição et al., 2021)

## 2.2.1 Evolução das bacias durante o Cenozoico

### 2.2.1.1 Paleogénico

Nas primeiras fases da evolução da bacia, durante o Paleogénico, a Bacia do Baixo Tejo funcionou em regime endorreico, caracterizado por um enchimento basal, no qual ocorreu a acumulação de depósitos de sedimentos mal calibrados, essencialmente, de leques aluviais alimentados a partir das unidades do Maciço Antigo e da Bacia Lusitaniana (Cunha et al., 2009; Dias & Pais, 2009; Pais et al., 2010), que correspondem às unidades alostratigráficas definidas por Cunha (1992), SDL7 (mantos de inundação) e SDL8 (fluxos canalizados). Estes sedimentos deram, posteriormente, origem à Formação de Benfica, no sector da Península de Setúbal e no Litoral oeste da bacia, (Dias & Pais, 2009), que assenta sobre a descontinuidade sobre o Complexo Vulcânico de Lisboa. Na Bacia de Alvalade no qual ocorreu a deposição da Formação de Vale de Guizo, que assenta diretamente sobre o soco metasedimentar paleozoico. Esta é constituída por sedimentos arcósicos grosseiros areno-conglomeráticos avermelhados, com presença de carbonatados e argilas (Azevêdo & Pimentel 1995; Pimentel 1997,1998; Dias & Pais, 2009; Pais et al., 2010), resultante de ambientes deposicionais associados a climas sub-áridos e

desenvolvidos em resposta a eventos tectónicos promovendo à sua deposição em leques aluvionais (Pais et al., 2013).

### 2.2.1.2 Neogénico

Na Bacia do Baixo Tejo, a sedimentação, durante o Miocénico e Pliocénico, foi caracterizada pela alternância de fácies continentais e marinhas resultantes de oscilações da linha de costa, condicionadas pelas variações do nível eutáticos e dos efeitos da tectónica (Dias & Pais, 2009; Pais et al., 2012). Tal facto conduziu ao desenvolvimento de diferentes sequências deposicionais que foram inicialmente caracterizadas por Cotter (1956) para a região de Lisboa e Almada com o estabelecimento das sequências deposicionais para toda a bacia.

O início do Neogénico foi marcado pela entrada do Oceano Atlântico para o interior da bacia, através do sector Sul. O sector de Almada é caracterizado pela deposição de fácies marinhas formadas por arenitos a calcarenitos avermelhados a amarelados. Estas deposições correspondem aos máximos transgressivos registados na bacia, que ocorreram durante o Burdigaliano Médio (Divisão III), Langhaniano Superior (Divisão Va1) e, posteriormente, no início do Tortoniano (Divisão VIc). Estes foram sobrepostos por unidades areníticas a siliciosas resultantes de uma fase regressiva representativas das Divisões IVb e Vb (Kullberg et al., 2006a).

A Península de Setúbal foi afetada pelos episódios de regressão e transgressão observados no sector de Almada, contudo, em algumas situações, não se verificam, de forma clara, as mudanças de fácies (Pais et al., 2013). Este sector é caracterizado pela deposição de depósitos argilosos a carbonatados na base, em alternância com areias e conglomerados, correspondentes a ambientes mais continentais. A mudança mais drástica ocorreu no início do Pliocénico, marcada pela regressão geral em toda a bacia, onde se depositaram os depósitos fluviais, característicos de sistemas deltaicos, sobrepostos à superfície de erosão do Tortoniano marinho na Península de Setúbal. Os referidos depósitos fluviais deram origem à Formação de Santa Marta, que ocupa a maior parte da área de estudo, sendo esta caracterizada por depósitos de areais grosseiras arcósicas, que tendem a atingir no interior da bacia espessuras na ordem dos 320 m, enquanto, no litoral não chegam a ultrapassar os 50 m (Azevêdo 1997, 2006; Manupella et al., 1999; Pais et al., 2006). Sobre esta ocorre a Formação Conglomerados de Belverde, formada por conglomerados quartzíticos, pouco ou nada consolidados, com espessuras na ordem das dezenas de metros. (Azevêdo 1997, 2006; Pais, 2004; Pais et al., 2006). Sobre estes, a Formação de Marco constituída por uma matriz conglomerática arenosa a vermelhada formada por clastos angulosos chegam a atingir 30 a 40 m de espessura (Pais et al., 2006).

No sector Oeste alentejano e na bacia de Alvalade, durante o Neogénico, o enchimento da bacia, durante o Tortoniano (referente ao máximo transgressivo) permitiu, novamente, as ligações a sul com as duas bacias (Antunes et al., 1986). Com a ligação estabelecida ocorreu a deposição de sedimentos que, posteriormente, deram origem à Formação de Alcácer do Sal. No final do Messiniano Médio, ocorreu, nas duas bacias, a deposição de sedimentos correspondentes à Formação de Esbarrondadoiro (Cunha, 2019). Posteriormente, na Bacia do Baixo Tejo, depositaram-se sedimentos referentes à Formação de Marateca, atualmente designada como

Formação de Ulme. A Bacia de Alvalade é representada pela Formação de Alvalade, caracterizada por fácies fluviais resultantes do desenvolvimento de uma grande planície aluvial (Resurreição, 2018).

### 2.2.1.3 Quaternário

A evolução da bacia no Quaternário foi marcada pela erosão fluvial, ocasionalmente, com depósitos continentais sobrepostos. Na bacia de Alvalade foi marcada pela deposição de sedimentos provenientes de fluxos detríticos, alimentados pela Serra de Caldeirão e pela Serra Vigia (Pimentel e Azevêdo 1995; Pimentel 2002), que caracterizam a Formação de Panoias.

## 2.2.2 Tectónica

A evolução geodinâmica das duas bacias é marcada pela inversão tectónica da Bacia Lusitânica e do soco Paleozoico, em resultado da convergência do continente africano, relativamente, ao bloco continental ibérico (Kullberg et al, 2000).

Segundo Kullberg et al., (2006b) e Pais et al., (2006) a Bacia do Baixo Tejo sofreu individualização, com início no Paleogénico, tendo por base a sedimentação de litofácies grosseiras, que evidenciam um rejuvenescimento do relevo associado a atividade tectónica, durante esse período, apesar de tal ser pouco evidente. Contudo, a individualização foi mais significativa no Miocénico, com uma subsidência mais evidente, desencadeada no contexto transgressivo, resultante do abatimento de falhas com orientação NE-SW (Carvalho et al., 1983-85; Cunha, 1992). Esta hipótese é corroborada por testemunhos de sondagem e por perfis sísmicos, que indicam a presença de sedimentos marinhos na área vestibular do Tejo, que passam a sedimentos fluviais para o interior (a N e NE), atingindo cerca de 800 m de espessura na região setentrional da Península de Setúbal (Cabral, et al, 2003; Carvalho, 2003; Moniz, 2010).

A Bacia do Baixo-Tejo corresponde, assim, a uma depressão tectónica alongada com direção NE-NW que sofreu subsidência, predominantemente, ao longo do período Miocénico. O conjunto sedimentar apresenta-se genericamente entre sub-horizontal a ligeiramente inclinado. No entanto, encontra-se deformado na proximidade de alguns acidentes tectónicos principais. A discriminação de diferentes fases de inversão tectónica neogénica fundamenta-se a partir de dados provenientes da Cadeia Orogénica da Arrábida, localizada na Folha 38-B Setúbal, da Carta Geológica de Portugal (onde se verificam dois impulsos tectónicos compressivos principais, o intra-Burdigaliano e o pós-Tortoniano) (Ribeiro et al, 1979; Kullberg et al., 2000). A primeira inversão foi marcada pela deposição de sedimentos marinhos, que evoluíram progressivamente para ambientes continentais. Durante esse tempo ocorreu a deformação dessas unidades no sector Norte da Cadeia da Arrábida. A segunda inversão permitiu a deposição dos sedimentos do Pliocénico em descontinuidade erosiva. Durante o Quaternário a deposição caracterizou-se, essencialmente, por uma passagem gradual das unidades do Pliocénico, resultantes da erosão fluvial (Moniz, 2010).

A tectónica da Bacia de Alvalade foi marcada por dois momentos tectónicos principais, associados à reativação das falhas tardi-hercínicas da Faixa-Piritosa Ibérica (Azevêdo,1995, 2002; Pimentel 1997, 2002; Oliveira et al., 1998; Oliveira et al., 2013; Matos et al., 2018; Matos,

2021). Dessas falhas destacam-se a Falha da Messejana, de orientação NE-SW, e as falhas de Grândola e do Torrão, de direção aproximadamente WNW-ESE.

Durante o Eocénico Médio, ocorreu a inversão tectónica marcada pela compressão N-S, em que a Falha da Messejana ter-se-á deslocado com uma componente de abatimento do bloco NW, enquanto as Falhas de Grândola e Torrão deslocaram-se com componente de movimentação inversa, causando a subsidência do bloco existente entre ambas, promovendo, assim, à deposição dos sedimentos do Paleogénico referentes à Formação de Vale Guizo (Ressurreição, 2018).

No Miocénico Superior ocorreu um grande evento compressivo promovendo a reativação da falha da Messejana, com componente de movimentação inversa e de desligamento esquerdo (*e.g.*, Villamor), proporcionando condições para a geração de leques aluviais a NW da estrutura, representados pelo membro inferior da Formação de Esbarrondadoiro (Pimentel, 1997, 2002). Posteriormente, no Messiniano ocorreu a reativação das falhas de Grândola e do Torrão, promovendo à subsidência do bloco entre ambas e permitindo uma incursão marinha nesta bacia através de um golfo formado entre estas estruturas, cujo registo sedimentar corresponde ao membro superior da Formação de Esbarrondadoiro. Por outro lado, Pais et al. (2012) apresentaram outra hipótese para a localização da entrada do mar na Bacia de Alvalade, sugerindo que esta se ocorreu pela área litoral a N de Odemira.

Durante o Pliocénico desenvolveu-se um importante sistema fluvial na Bacia de Alvalade, testemunhado pelos sedimentos da formação de Alvalade (Azevedo, 1997; Pimentel 1997, 2002) pelo quadrante NW implicando o soerguimento da serra de Grândola, ou de parte desta, durante o Plistocénico.

No Plistocénico a atividade tectónica das falhas de Grândola e da Messejana promoveu a deformação dos sedimentos do Pliocénico e do Plistocénico (Pimentel & Azevedo, 1995; Pimentel 1997, 2002).

### 2.2.3 Estrutura

Nas duas bacias, os sedimentos do Pliocénico e Plistocénico cobrem a maior parte das estruturas referentes à fase de inversão tectónica neogénica, que afetam as unidades do Neogénico e do Paleogénico que têm interesse na região. Vários estudos realizados no âmbito das áreas das geociências, através de campanhas de sondagens (*e.g.* Sondagem de Belverde, Pais et al., 2003) e perfis de reflexão sísmica (*e.g.* no estudos do Vale do Tejo, Carvalho et al., 2003; Cabral et al., 2003; Moniz, 2010; Correia, 2017), gravimétricos, magnéticos e de resistividade elétrica para prospeção de petróleo e de depósitos minerais, permitiram aferir e identificar essas estruturas (*e.g.*, região entre Grândola e Alcácer do Sal, Oliveira et al., 1998; Matos et al., 2018; Matos et al., 2020; Matos, 2021).

Na Bacia do Baixo Tejo destaca-se a Falha do Pinhal-Novo, de carácter regional, que compreende um dos acidentes principais da área de estudo. Consiste numa macroestrutura frágil identificada na região, que atravessa as unidades do Pliocénico, apesar de não existirem



muitas evidências que a corroborem. A falha assume uma inclinação para o Montijo, com uma orientação geral NNW-SSE e abarca uma zona larga de deformação (de cerca de 1,5 km), em que apresenta um padrão de falhas ramificadas e anastomosadas (Correia, 2017).

Esta terá funcionado durante o Mesozóico como o bordo a E da Bacia Lusitânica nesta região, controlando a sedimentação. Atendendo à sua localização, a Norte da terminação oriental da Cadeia Orogénica da Arrábida, terá funcionado, posteriormente, como rampa lateral esquerda em relação com as estruturas cavalgantes da Arrábida e os dobramentos associados, de idade miocénica (Kullberg, 2006b; Moniz, 2010).

No sector mais a Sul da bacia juntamente com a Bacia de Alvalade, estas são afetadas por estruturas paleozoicas correspondentes à Faixa Piritosa Ibérica, que apresentam uma orientação geral NW-SE, evidenciada pelos planos de clivagem e dobramento compatível com uma vergência forte para SW (Figura 2.3). O soco Paleozoico encontra-se compartimentado em blocos limitados por sistemas de falhas alpinos e/ou tardi-variscas de orientação NNE-SSW a NE-SW, NW-SE e E-W, de tipo desligamento e movimentação predominantemente normal, representadas na Figura 2.3 (Oliveira et al. 1998, Oliveira et al. 2001).

O sistema NNE-SSW é representado pelas falhas de Serrinha NW, Frade, Volta, Pinhal e Bica-Clérigos, que apresentam um sentido de movimentação aparentemente dextro na janela de Serrinha. Estas estruturas de regime frágil provocam rotação local da clivagem para N-S e NE-SW, compartimentando o bloco Paleozoico. A falha Bica-Clérigos, de orientação NNE-SSW, corresponde a um acidente regional que se prolonga para N em direção a Cabreia e, para S, em direção aos horsts de Valverde e Pedrógão (Oliveira 1998; Oliveira et al., 2001; Matos et al. 2009), e ainda mais para sul para o sector de Cidrão (Serra de Grândola). Quer a janela de Serrinha, quer a de Clérigos encontram-se, provavelmente, em regime tectónico ativo, formando horsts limitados por falhas normais, por vezes de inclinação oposta, com acentuado encaixe da rede hidrográfica.

O sistema NE-SW está associado às falhas que controlam os vales das ribeiras de São Martinho e de Alberginho de idêntica orientação. No primeiro caso admite-se um rebatimento do bloco NW, testemunhado pelo facto de apenas se observarem afloramentos do soco Paleozoico no bloco SE (margem esquerda da ribeira).

O sistema E-W tem como principal evidência as falhas Loureiro e Palma-Cordoeira. Esta última falha assume dimensão regional quer pela sua extensão a oriente, onde corta o cavalgamento que limita o bordo oeste da Zona de Ossa Morena, na região de Santa Susana, quer no seu prolongamento a ocidente, coincidente com a região sul da Serra da Arrábida, próximo de Setúbal (Matos et al. 2009). A falha apresenta ainda escarpas nos bordos meridionais da janela de Palma e da mancha de Cordoeira, onde é assinalada junto ao Monte do Berlonguinho por brechas tectonizadas, que testemunham o esmagamento associado à sua movimentação.

O sistema NW-SE tem menor expressão sendo representado pelas falhas que limitam o horst de Serrinha nos seus sectores NE e SW.

No sector a Sul da área, ocorrem estruturas com orientação NNW-SSE que consistem grabens como o caso da Lagoa Salgada NE, no sector Norte da falha de Grândola e o graben do Batão, correspondendo esta última estrutura ao prolongamento para NNE da Falha Mina do Lousal-Vale do Sado, que no qual a espessura de sedimentos é substancialmente maior que nos outros sistemas descritos (Oliveira, 1998).

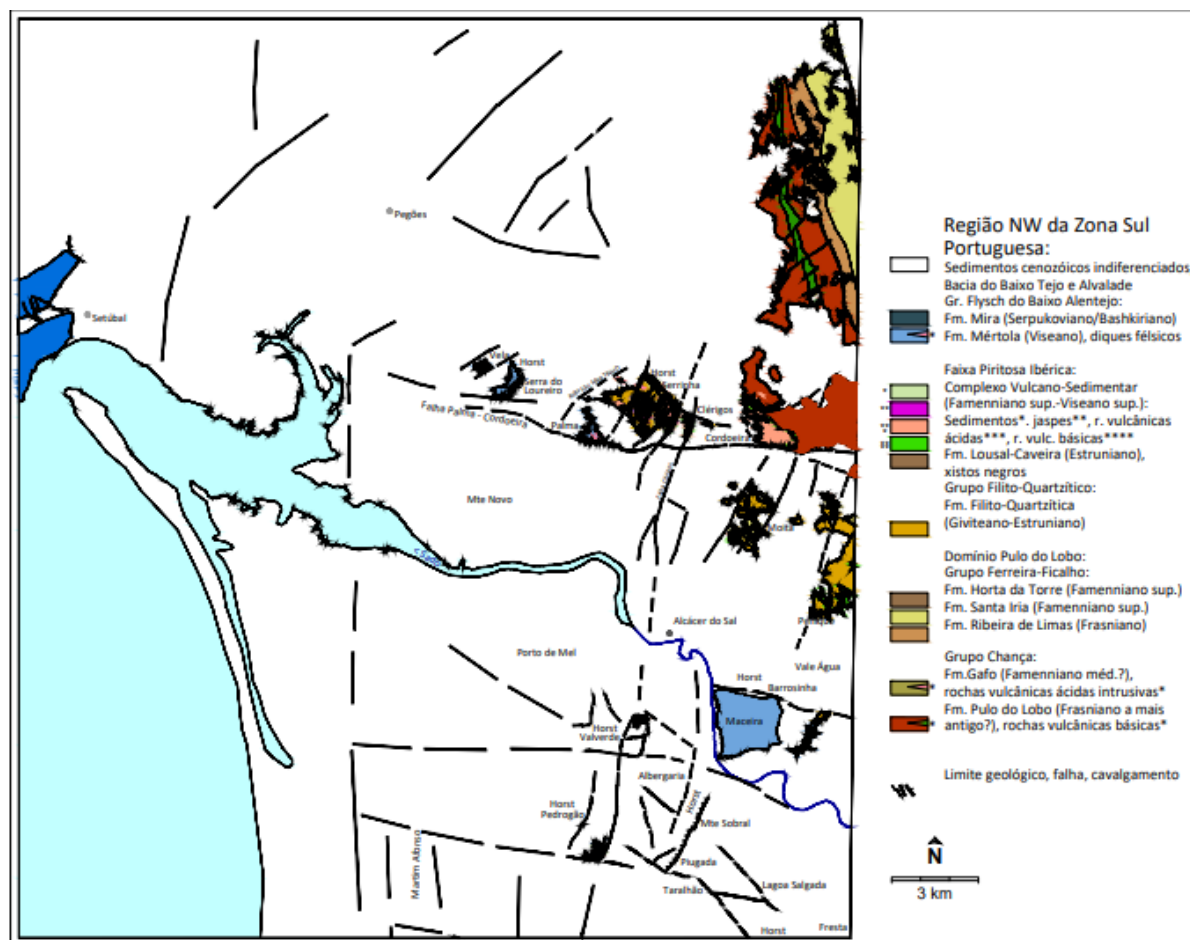


Figura 2.3 - Representação geográfica dos acidentes tectónicos do sector sul da área de estudo (Matos, 2021)

## 2.3 Enquadramento hidrológico e hidrogeológico

### 2.3.1 Estuário do Tejo e do Sado

Os sistemas estuarinos são influenciados pelas marés, descargas fluviais e intensidade do vento, que moldam os padrões de transporte sedimentar e a sua morfologia (Maia, 2009). A área em estudo é condicionada pela presença dos estuários do Tejo e do Sado, sendo o estuário do Tejo um dos maiores da Europa.

O estuário do Tejo possui uma área de cerca de 320 km<sup>2</sup>, que se desenvolve segundo a direção NNE-SSW, tendo uma largura que varia entre os 1,8 e 2 km, no sector do embocamento do canal (zona mais profunda com cerca de 46 m) e 15 km, no sector interior (menos profundo), apresentando no total um comprimento de cerca 80 km desde o seu limite superior (perto de Muge) até à sua embocadura (perto de S. Julião da Barra-Bugio), e uma profundidade média de 10,6 m (Fernandes, 2005; Freire et al., 2006). A cerca de 40 km da embocadura dá-se um estreitamento rápido do estuário, que o limita a Norte, em Vila Franca de Xira, a 50 km da embocadura, onde se localiza aproximadamente o limite de intrusão salina (Fernandes, 2005). O estuário do Tejo é do tipo lagunar sujeito ao efeito das marés, em que as correntes na zona sul e oriental são perpendiculares ao eixo do canal principal (Zeferino, 2016). A descarga no estuário pode variar entre os 80 e 720 m<sup>3</sup>/s, registando-se um caudal médio em Santarém (1943-1977) de 392.9 m<sup>3</sup>/s (Loureiro, 1979 citado por Gameiro, 2009).

No sector Sul da área de estudo, delimitado pela serra da Arrábida que se desenvolve segundo a direção geral WSW-ENE até ao cabo Espichel e a SW e W pela Península de Troia, define-se o estuário do Sado. Este estuário tem área aproximadamente de cerca 200 km<sup>2</sup> e apresenta uma profundidade média de 5 m. O estuário é definido como um estuário tipo barreira, no qual a Península de Troia funciona como um meio de separação entre o estuário e o oceano (Jorge & Brito, 2009). O estuário do Sado é do tipo mesotidal (amplitude média de maré de 2 m), com marés semidiurnas e regulares (Ferreira, 2007). A circulação estuarina é dominada pela propagação da maré, dado que o caudal fluvial é reduzido, (Sousa, 2006). Ocorre uma acentuada assimetria na propagação da maré nos canais norte e sul, do ponto de vista hidrodinâmico (Sousa, 2006). Pode ser classificado como um estuário parcialmente misturado ou totalmente misturado, uma vez que, as profundidades são baixas e o efeito da corrente de maré traduz-se por uma mistura acentuada na vertical (Davis & Fitzgerald, 2004). O escoamento gerado na região hidrográfica do Sado e Costeiras, que constituem os afluentes mais importantes do estuário, são da ordem de 166,0 hm<sup>3</sup>, 608,8 hm<sup>3</sup> e 1363,9 hm<sup>3</sup>, respetivamente, em ano seco, médio e húmido (APA, 2016).

### 2.3.2 Clima

O clima na região, segundo a Classificação Climática de Köppen-Geiger, é definido como temperado do tipo Csa (IPMA, 2022b).

No setor do estuário do Tejo a temperatura média anual é de 16.5 °C, com uma precipitação média anual de 796 mm, em que num ano seco chega aos 582 mm, enquanto no ano húmido chega aos 1009 mm (APA, 2016).

Na zona do estuário do Sado a temperatura do ar média anual é próxima dos 14,9 °C, variando entre 15,2 °C e 16,3 °C, sendo as temperaturas médias diárias máximas em julho e agosto. A precipitação média anual na zona da bacia é de 680 mm, sendo este valor inferior aos valores médios de Portugal Continental (920 mm), caracterizando o local como moderadamente chuvoso (Monteira, 2021).

### 2.3.3 Sistema aquífero do Tejo, Margem Esquerda

A unidade hidrogeológica da área de estudo compreende a Bacia do Tejo-Sado, que consiste numa depressão alongada com direção NE-SW, delimitada a N e W pelo sistema aquífero da Orla Ocidental, constituído por formações mesozoicas, e a NE, Este e SE, pelo maciço hespérico, comunicando a sul com o Atlântico, na península de Setúbal (Almeida et al., 2000). A unidade é dividida em sub-unidades que são a Bacia Terciária do Baixo-Tejo e a Bacia de Alvalade, representada na Figura 2.4.

A Bacia Terciária do Baixo-Tejo é formada por sedimentos continentais do Paleogénico, que sofreram interdigitação sucessiva de sedimentos continentais e marinhos no Neogénico, como foi referido no capítulo anterior (Simões et al., 2014). A Bacia é formada por três sistemas aquíferos que constituem os mais importantes do país. Na área em estudo destaca-se o sistema aquífero da Margem Esquerda, que em área representa o maior sistema aquífero do território nacional. O sistema aquífero da Margem esquerda é relativamente complexo, sendo caracterizado por diversas variações laterais e verticais de fácies devido aos episódios de regressão e transgressão durante o Neogénico. Desse modo, o comportamento hidrogeológico varia devido à ocorrência de camadas porosas, confinadas ou semi-confinadas, e por camadas argilosas de baixa permeabilidade (aquitardos e aquícludos) (Simões, 1998; Almeida et al., 2000; Pais et al., 2006; Quental, 2011; Zeferino, 2016).

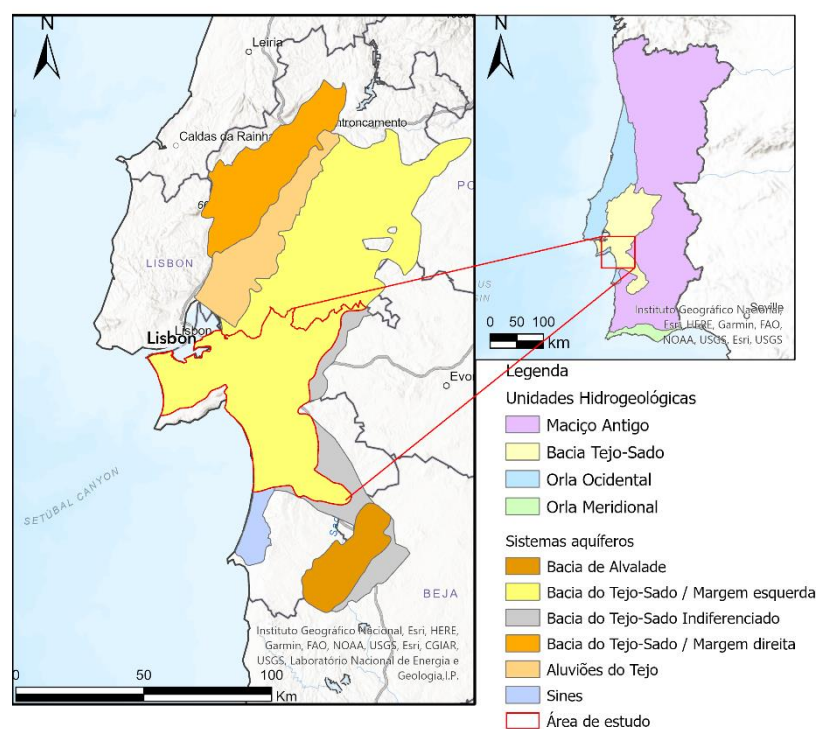


Figura 2.4 - Representação dos sistemas aquíferos referentes à Bacia do Tejo-Sado

De acordo com Almeida et al. (2000), o sistema aquífero na Península de Setúbal é constituído por um aquífero superior livre, relativamente poroso, instalado nos depósitos detríticos recentes e nas camadas arenosas do topo do Pliocénico, sobrejacente a um aquífero confinado ou semi-confinado multicamada, instalado nas camadas da base do Pliocénico e nas camadas greso-calcárias do Miocénico superior a médio. Existe ainda um outro aquífero confinado situado a maiores profundidades, que é menos produtivo e de qualidade inferior, que se encontra sub os depósitos greso-calcários, (base do Miocénico).

A recarga destes aquíferos é feita principalmente por infiltração direta nos depósitos detríticos quaternários e pliocénicos, que cedem parte desta infiltração às formações mais profundas do Pliocénico. Estes, por sua vez, cedem parte dessa recarga às formações miocénicas subjacentes, por drenância como ocorre na Figura 2.5. Estas formações também recebem água diretamente, nos locais onde afloram através das formações quaternárias compostas por materiais sedimentares pouco consolidados como areias, permitem a passagem de água para as camadas inferiores) transcrição (Pais et al., 2006; Quental, 2011).

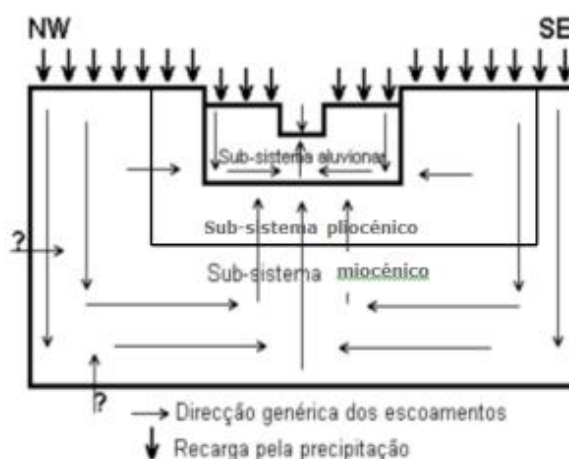


Figura 2.5 - Modelo conceptual do modelo de escoamentos da bacia (Mendonça, et al. 2009)

No sector sul da área, o sistema aquífero em termos de funcionamento hidráulico pode ser dividido em dois subsistemas: (i) o subsistema superficial que inclui depósitos não consolidados holocénicos e pliocénicos (incluindo a Formação da Marateca) e (ii) o subsistema profundo que compreende as formações Miocénicas. O subsistema superficial é um sistema não confinado alimentado diretamente, enquanto o subsistema mais profundo é um sistema multicamada, semi-confinado alimentado lateralmente nos bordos da bacia nos sectores onde aflora, e verticalmente por drenância a partir do subsistema superficial, sempre que a piezometria relativa dos dois subsistemas o permite (TARH, 2008, citado por Outra Paisagens Lda., 2009).



## METODOLOGIA E FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 3.1 Estratégia

A metodologia adotada para os objetivos pretendidos contempla diversas etapas, nas quais se pretendeu, inicialmente, determinar e avaliar a evolução espaço-temporal, no sistema aquífero da Margem Esquerda da Bacia do Tejo-Sado no sector Centro e Sul, da profundidade do nível de água, através das análises estatísticas multivariadas e na análise de tendências. Para complementar essa informação, foi feita a análise das fácies hidroquímicas existentes na área estudo de modo a determinar a sua distribuição espacial, tendo por base nas leituras de certos parâmetros químicos das águas subterrâneas. Consequentemente, dessa análise, procedeu-se à construção do modelo de escoamento na zona onde suscitou especial interesse, no qual se verificaram padrões evolutivos anómalos, permitindo, assim, compreender e determinar eventuais causas que possam justificar o surgimento destes fenómenos.

Para este feito, a metodologia adotada seguiu a seguinte ordem de trabalhos: 1) Análise dos metadados com o intuito de verificar variações temporais e espaciais da profundidade do nível de água no sistemas aquíferos e das propriedades químicas; 2) Construção do modelo de escoamentos com recurso ao MODFLOW; 3) Simulação do fluxo subterrâneo; 4) Análise e discussão dos resultados obtidos da fase 1 e 3, e possíveis conclusões e correlações, como consta no fluxograma representado na Figura 3.1.

Para a execução da primeira fase foram recolhidos dados de poços e furos, relativamente ao sistema aquífero em estudo, bem como dos sistemas aquíferos limítrofes que se encontram em contacto com o sistema (Sistema Aquífero de Sines, Alvalade e o Maciço Indiferenciado da bacia do Tejo Sado). Estes dados constam disponibilizados publicamente pela Sistemas Nacional e Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), uma das subunidades da APA. A segunda fase consistiu na recolha de informação geológica dos furos e poços do SNIRH, juntamente com os dados de sondagens e perfis gravimétricos, magnetométricos, sísmicos e de resistividade elétrica do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), estudos publicados e artigos científicos e das Cartas Geológicas de Portugal 1:50000 disponibilizadas no Geoportal. Com a informação recolhida, construíram-se perfis geológicos em que se correlacionam as colunas litológicas das sondagens. A partir destes perfis, juntamente com os dados dos furos e

sondagens e com recurso ao ArcGIS Pro, definiram-se as superfícies litoestratigráficas de interesse ao estudo, através da criação de uma base de dados com as localizações 3D (XYZ) segundo o sistema de coordenadas geográficas Hayfor-Gauss, Datum Lisboa (IGeoE). Com os dados estruturados por horizontes (ou seja, de acordo com as distintas superfícies litoestratigráficas selecionadas para estudo), procedeu-se à construção do modelo de escoamentos com o software PMWIN 5.3.1, o que permitiu avaliar e comparar a evolução temporal dos valores de piezometria registados com os obtidos por modelação numérica no modelo e retirando-se possíveis ilações sobre os fatores que condicionam os mesmos.

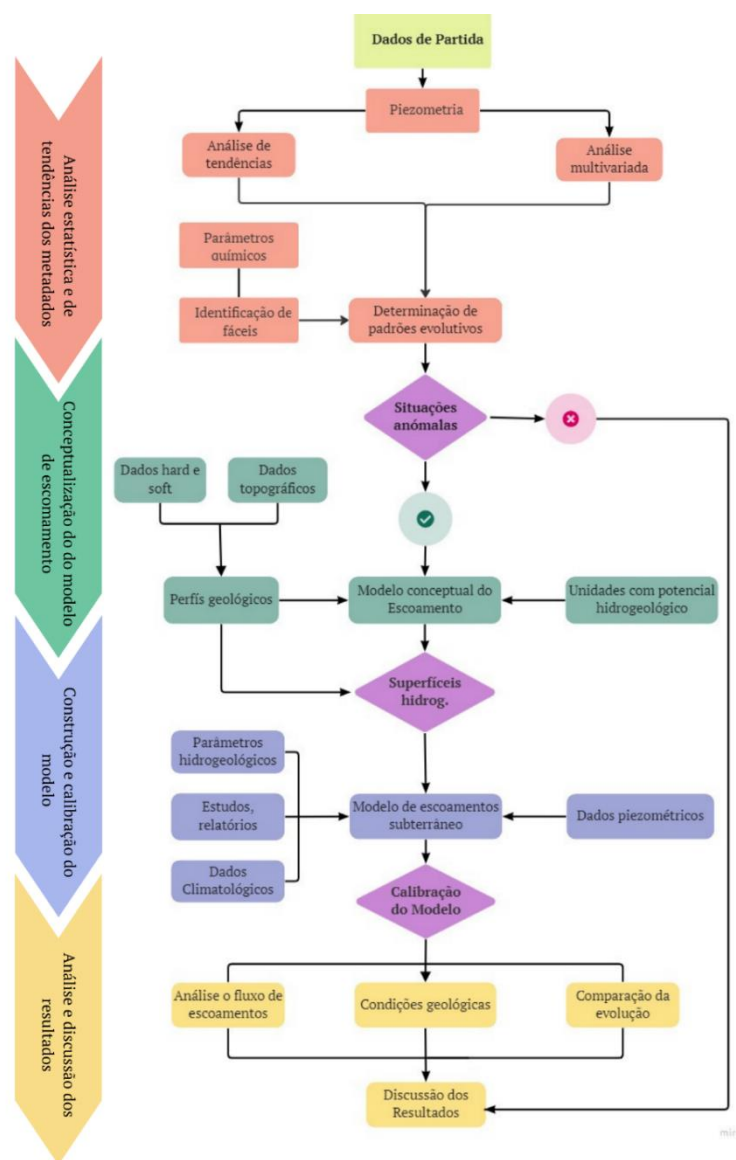


Figura 3.1 - Fluxograma das etapas da dissertação



## 3.2 Fundamentos Teóricos

### 3.2.1 Estatísticos - Análise multivariada

A compreensão e determinação dos fatores que influenciam a variação espacial e temporal dos valores de piezometria e dos parâmetros hidroquímicos no estudo de águas subterrâneas, é essencial para delinear medidas de ação e monitorização para a preservação deste recurso. Existe um grande número de publicações que refletem o uso da análise estatística multivariada na evolução da salinização das áreas costeiras (Ferchichi et al., 2018), no estudo e qualidades de água (Kazakis et al., 2017) e na variação dos níveis piezométricos (Machiwal & Singh 2015). Estas técnicas permitem assim a análise das relações entre variáveis de uma forma abrangente e quantificá-las (Shiker, 2012).

A análise multivariada é constituída por um conjunto de técnicas que assentam em dois métodos principais distintos: análise de variáveis independentes e dependentes. A primeira admite, inicialmente, que não existe dependência entre as variáveis, focando-se simplesmente na relação entre os dados, em que se destaca a técnica *Factorial Analyst of Mixed Data* (FAMD). No caso da análise com variáveis dependentes, assume-se à partida uma relação intrínseca entre as variáveis. No auxílio desta técnica aplicam-se, normalmente, técnicas de classificação não-supervisionada, como a classificação hierárquica e o K-means, que foram empregues neste estudo.

#### 3.2.1.1 *Factorial analyst of mixed data* (FAMD)

A Análise Fatorial consiste num conjunto de técnicas de análise estatística multivariada de dados que são utilizadas para estudar a relação entre variáveis. Baseia-se na aplicação de uma transformação dos dados de partida, de forma a simplificar e a realçar as relações entre as variáveis, através da análise de um menor número de características, ou fatores (Pagès, 2004).

A técnica mais utilizada é a *Principal Component Analysis* (PCA), que permite avaliar as relações entre variáveis quantitativas. Existe outra técnica que avalia, simplesmente, a relação entre variáveis qualitativas que é a técnica *Multiple Correspondence Analysis* (MCA). Contudo, na presença de variáveis que contêm informação quantitativa e qualitativa, deixa de ser possível utilizar as duas técnicas (Adamovic et al., 2016). Uma vez que o caso de estudo se insere nesta situação, recorreu-se à técnica FAMD, que consiste numa junção das técnicas PCA e MCA. As variáveis quantitativas são dimensionadas para a variação unitária, como acontece na análise de PCA, enquanto as variáveis qualitativas são transformadas numa tabela de dados disjuntiva. Posteriormente, as variáveis são dimensionadas usando a escala específica associada à técnica de MCA (Husson et al., 2020). Assim, esta técnica permite analisar dados e avaliar o equilíbrio e a influência dos dois tipos de variáveis (Pagès, 2004). De acordo com Pagès et al., (2004) a FAMD é possível ser aplicada:

- em dados em que tenham poucas variáveis qualitativas comparadas com as quantitativas;
- quando o número de indivíduos na população em estudo é geralmente baixo.

Na análise dos resultados, a representação dos indivíduos na população dos dados é realizada diretamente a partir de fatores, como uma projeção sobre as duas primeiras dimensões, em que as variáveis quantitativas são representadas através do círculo de correlações associado à análise de PCA. As variáveis qualitativas são representadas da mesma maneira que na MCA, em que a variável categórica está representada no centróide do indivíduo que a possui (Adamovic et al., 2016). Com a execução desta técnicas, são obtidos indicadores que permitem determinar a representatividade de uma variável, a que corresponde a  $\cos^2$ , e que consiste na medida entre o quadrado do cosseno e o vetor emitido a partir da posição da variável e a sua projeção sobre o eixo (Lê et al., 2008). Quando esses valores são próximos de 1, significam que a variável está bem projetada.

Segundo Adamovic et al., (2016), normalmente, após a execução desta técnica, parte-se para uma análise hierárquica, de modo a concluir a classificação dos indivíduos em grupos, recorrendo a análise hierárquica referente *Hierarchical Classification on Principal Components*, (HCPC).

### 3.2.1.2 *Hierarchical classification analysis* (HCA)

O HCA é uma técnica utilizada para determinar grupos homogêneos definidos como *clusters*, cujo dados apresentam similitudes entre si numa população inicial. Para tal, esta técnica utiliza processos iterativos sucessivos, que irão processar todos os objetos num conjunto, através de métodos aglomerativos ou dissociativos. Este processo finaliza quando todos os objetos forem processados (Almeida et al., 2007).

O processo mais comum (aglomerativos), inicia-se com cada objeto a ser considerado um aglomerado (ou cluster). De seguida, combinam-se os aglomerados, sequencialmente, reduzindo-se o seu número em cada passo, até que todos os objetos pertençam a apenas a um aglomerado, permitindo determinar a matriz das semelhanças, com recurso à distância Euclidiana ou ao coeficiente de correlação (Almeida et al., 2007). Posteriormente, faz-se o agrupamento dos objetos para determinar a nova matriz das distâncias, através de critérios do tipo *linkage* entre grupos, até obter o resultado pretendido.

Definida a medida de semelhança e o método de ligação, a definição dos objetos e grupos em cada etapa do processo segue a ordem de maior semelhança (Brereton, 2004; Almeida et al., 2007). O resultado da HCA é, geralmente, apresentado num dendrograma, onde cada passo de ligação no processo de agrupamento é representado por uma linha de conexão (Smoliski et al., 2002; Granato et al., 2018) e o número de *clusters* é definido para um valor de corte.

Uma vez que se recorre, em primeiro lugar, à análise fatorial dos dados, é comum aplicar a análise HCPC. O método HCPC permite classificar os indivíduos em grupos homogêneos. Utiliza o critério do tipo Ward, no qual minimiza a total variação do grupo (Ward, 1963), permitindo respeitar o princípio da PCA (Husson et al., 2017), que representa uma das componentes da análise FADM. Assim, o algoritmo agrupa os indivíduos mais próximos no mapa fatorial em pares, e em seguida, agrega os grupos mais próximos em pares, até atingir o nível proposto de agrupamento (Adamovic et al., 2016).

### 3.2.1.3 *K-means*

O *K-means* é outra técnica utilizada para dividir uma população de dados em  $K$  grupos homogêneos, designados *clusters* distintos, de forma que dentro de cada grupo as observações sejam similares e, entre grupos, as observações sejam distintas (Weatherill & Burton, 2009; Mooi & Sarstedt, 2011).

O *K-means* segue uma abordagem iterativa e considera, à priori, um número de grupos  $K$  a atingir. Desenvolve-se em duas etapas, sendo que a primeira consiste em definir o valor  $K$ , de modo a determinar, de forma aleatória, os centros  $k$  (Na et al., 2010). Na segunda fase, cada objeto, por meio de iterações, será associado temporariamente a um *cluster*, tendo por base a distância Euclidiana ao centro de cada grupo (*cluster*) (Fahim et al., 2006; Na et al., 2010). Quando todos os objetos se encontram incluídos num grupo, a primeira etapa é concluída, recalcula-se a posição dos centroides anteriormente determinados, reatribuindo cada objeto ao novo *cluster* (Žalik, 2008; Mooi & Sarstedt, 2011). Este processo é repetido sucessivas vezes até que se deixem de verificar variações nos centros dos *clusters* (Weatherill & Burton, 2009).

Assim, o *K-means* pode ser caracterizado como a soma de erros ao quadrado, como é mostrado na equação 3.1:

$$K = \sum_{l=1}^k \sum_{x \in C_l} \|x - m_l\|^2 \quad (\text{eq. 3.1})$$

Onde  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  representa os dados e  $m_l = \sum_{x \in C_l} \frac{x}{n_l}$  é conhecido como o centroíde do *cluster*  $C_l$ ,  $1 \leq l \leq K$ ;  $n_l$  é o número de objetos de dados no *cluster* e  $K$  é o número de aglomerados. Apesar de ser uma técnica muito utilizada, apresenta algumas limitações, devido ao facto de não determinar a existência de *outliers*, o que pode enviesar a análise dos dados. Igualmente, esta técnica não pode ser aplicada em grupos de dados com variáveis qualitativas ou grupos não globulares (Shukla, 2014) (Shukla, 2014).

## 3.2.2 Análise de tendências

No estudo de águas subterrâneas é importante compreender a evolução dos níveis piezométricos e dos parâmetros físico-químicos da água ao longo do tempo, de modo a poder averiguar e determinar os fatores que a possam influenciar e permitir uma melhor gestão deste recurso. Os métodos de análise de tendências assumem, assim, grande importância.

A análise da tendências pode ser utilizada para detetar a tendência em séries históricas, observadas a longo prazo, do nível das águas subterrâneas, e a sua variabilidade sazonal ao longo da duração específica.

No estudo de águas subterrâneas pode-se recorrer a duas técnicas distintas. Análises paramétricas (dependentes da distribuição que assume padrões de normalidade ou a estes muito próximos) e não paramétricas (isentos de distribuição com padrões normais ou

próximos da normalidade, não-normais). As análises paramétricas assumem, à partida, que os dados em estudo seguem uma lei de distribuição normal, enquanto as análises não paramétricas não se baseiam nesse pressuposto, ou seja, não existe uma distribuição definida (Riaz et al., 2016).

Na área das geociências, o uso de métodos paramétricos é bastante utilizado, apesar que frequentemente os dados em análise, não satisfazerem os critérios de normalidade necessários para a sua utilização. Nos estudos hidrológicos é errado assumir que os dados são estacionários e independentes das séries temporais, uma vez que tal não corresponde à realidade (Helsel, 1987; Anderson, 2001; Mumby, 2002; Riaz et al., 2016; Mirabbasi et al., 2020). Além disso, os métodos paramétricos são muito sensíveis à presença de *outliers* na série de dados, ao contrário dos métodos não paramétricos (Mirabbasi et al., 2020).

Assim, é natural recorrer ao uso de métodos não paramétricos. Para o caso de estudo utilizou-se a análise *Mann-Kendall* (MK) e a análise *Şen's T*, também conhecida por *Innovative trend*.

Existem algumas diferenças entre as duas técnicas. Na análise MK assume-se que as séries temporais não têm correlação em série, enquanto o *Innovative trend* é o oposto. Na prática, a maioria dos registos hidro-meteoro-climatológicos têm correlações em série, que são normalmente significativas, em séries pequenas (Şen, 2017). O *Innovative trend* permite a identificação de tendências monótonas e holísticas, como o caso do MK, contudo, permite obter mais informação sobre as componentes de tendência parcial, por patamares, em valores de dados "baixos", "médios" e "elevados" (Şen, 2012, 2014)

### 3.2.2.1 Mann-Kendall (MK)

De acordo com (Mirabbasi et al., 2020) a análise MK desenvolvida por Mann (1945) e revista por Kendall, (1975), assume que o valor da tendência a obter é calculado segundo a equação 3.2 e 3.3:

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{Se } x_j > x_i \\ 0; & \text{Se } x_j = x_i \\ -1; & \text{Se } x_j < x_i \end{cases} \quad (\text{eq. 3.2})$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (\text{eq. 3.3})$$

Em que  $x_i$  e  $x_j$  são os valores de dados para os tempos  $i$  e  $j$ , de  $n$  comprimento do conjunto de dados. Quando o valor de  $S$  é positivo indica uma tendência crescente, caso contrário indica uma tendência decrescente.

Quando uma série, em que o comprimento dos dados,  $n > 10$ , as distribuições dos dados aproximam-se de uma lei de distribuição normal, com média igual a zero, em que a variância assume a seguinte expressão:

$$Var(S) = \frac{n - (n - 1)(2n + 5) - C}{18} \quad (\text{eq. 3.4})$$

Em que  $C$  é um fator para modificação da variação e  $n$  representa o número de grupos definidos. Na presença de série de dados com presença de dados sucessivos, o parâmetro  $C$  é calculado pela fórmula:

$$C = \sum_{i=1}^m t_i(t_i - 1)(2t_i - 5) \quad (\text{eq. 3.5})$$

Em que  $t_i$  define o número de dados vinculados no grupo. Na situação em que não exista grupos, este processo pode ser ignorado. Após o cálculo da variação dos dados das séries, o valor  $Z$  padrão é calculado de acordo com o seguinte equação:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}}; & \text{Se } S > 0 \\ 0; & \text{Se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}}; & \text{Se } S < 0 \end{cases} \quad (\text{eq. 3.6})$$

Na análise MK, a hipótese nula  $H_0$ , (não há uma tendência significativa na série de tempo) será aceite se no nível de importância  $\alpha$  for,  $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1+\alpha/2}$ . Caso não se verifique esta hipótese,  $H_0$  é rejeitada e a hipótese alternativa (existência de uma tendência significativa ao nível de importância) é aceite (Dinpashoh et al., 2014).

### 3.2.2.2 Innovative trend

O método de *Innovative trend*, proposto por Şen (2012), divide a série temporal em duas subséries iguais com base no valor médio de valores, que consequentemente, são classificados separadamente, em ordem ascendente. Essas subséries são posteriormente, distribuídas em dois eixos, em que uma subsérie ( $X_i$ ) encontra-se no eixo  $X$  e a outra subsérie ( $X_j$ ) encontra-se no eixo  $Y$ , como que se encontra representado na Figura 3.2.

Para avaliar se existe tendência ou não, é necessário conhecer o valor do *slope* e determinar se este é maior que o valor crítico. Com as subséries definidas, determinam-se as médias aritméticas de cada subsérie, em que o *slope* é obtido segundo a seguinte equação:

$$E(S_a) = \frac{2}{n} [E(\bar{X}_2) - E(\bar{X}_1)] \quad (\text{eq. 3.7})$$

Em que  $n$  é o número de dados da série temporal total. Caso o valor  $E(\bar{X}_1) = E(\bar{X}_2)$ ,  $E(s) = 0$ , o centroide da linha de tendência recai sobre a linha 1:1, indicando que não existe tendência.

Caso o valor  $X_1 > X_2$  tem-se uma tendência negativa, isto é, existe uma diminuição, mas se  $X_1 < X_2$  tem-se uma tendência positiva, ou seja, existe um aumento Şen (2012).

De acordo com Öztopal & Şen, (2017), na aplicabilidade de uma análise estatística da *Innovative trend*, é possível definir duas hipóteses. A hipótese nula,  $H_0$ , assume que não existe tendência, caso o valor do *slope* calculado,  $S_a$ , permanecer abaixo de um valor crítico,  $S_{cr}$ . Caso contrário, uma hipótese alternativa,  $H_a$ , é válida quando  $S_a > S_{cr}$  (Almazroui & Şen, 2020). Também se pode confirmar o resultado recorrendo ao valor da variância do *slope*, recorrendo a  $V(S_a)$ , em que  $V(S_a) = E(S_a^2) - E^2(S_a)$ . Caso não haja tendência, assume-se que  $V(S_a) = E(S_a^2)$ , em que a variância assume a seguinte equação:

$$E(S_a^2) = \frac{[E(\bar{X}_2^2) - 2E(\bar{X}_2\bar{X}_1) + E(\bar{X}_1^2)]}{n^2/4} \quad (\text{eq. 3.8})$$

Numa situação em que não haja tendência  $E(\bar{X}_2^2) = E(\bar{X}_1^2)$  a média da variância corresponde:

$$E(S_a^2) = \frac{[E(\bar{X}_2^2) - E(\bar{X}_2\bar{X}_1)]}{n^2/8} \quad (\text{eq. 3.9})$$

O coeficiente de correlação entre os dois valores médios é dado de acordo com a autocorrelação, que consiste:

$$\rho_{\bar{X}_1\bar{X}_2} = \frac{E(\bar{X}_2\bar{X}_1) - E(\bar{X}_2)E(\bar{X}_1)}{S_{\bar{X}_1}S_{\bar{X}_2}} \quad (\text{eq. 3.10})$$

Em que  $S_{\bar{X}_1} = S_{\bar{X}_2} = S/\sqrt{n}$ . Assim, a expressão assume a seguinte equação :

$$E(S_a^2) = \frac{(1 - \rho_{\bar{X}_1\bar{X}_2})}{n^2/8} * \frac{S_a^2}{n} \quad (\text{eq. 3.11})$$

Em que o coeficiente de correlação corresponde às médias aritméticas entre as duas sub-séries. Assim, o desvio padrão do valor do *slope* de amostragem pode ser obtido a partir da equação 3.12:

$$\sqrt{E(S_a^2)} = \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} S \sqrt{1 - \rho_{\bar{X}_1\bar{X}_2}} \quad (\text{eq. 3.12})$$

Dada estas circunstâncias, o momento de terceira ordem da variável de inclinação também é igual a zero, e o mesmo é válido para todos os momentos de ordem ímpar. Por esta razão, o *slope* respeita a *Probability Distribution Functions* (PDF) normal (gaussiano) com

média zero e o desvio padrão sendo deste modo o critério básico deste método (Almazroui & Şen, 2020). Assim, para valor de confiança de 10% de importância, compreende os limites de confiança de um normal padrão com média igual a zero e desvio padrão relativos  $S_{cr}$  (Almazroui & Şen, 2020). Deste modo, os limites de confiança (CL) do *slope* podem ser expressos de acordo com a seguinte expressão:

$$CL_{1-\alpha} = 0 \pm S_{cr} \sqrt{S_a^2}. \quad (\text{eq. 3.13})$$

Como foi referido anteriormente, esta técnica permite fazer a distinção entre valores de séries em "baixas", "médias" e "altas", permitindo assim, individualizar e caracterizar os dados em subáreas de 9, como se pode observar na Figura 3.2.

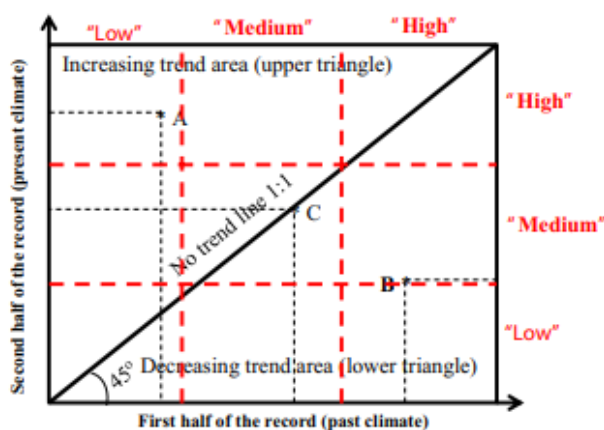


Figura 3.3 - Representação do esquema de análise do *Innovative trend*

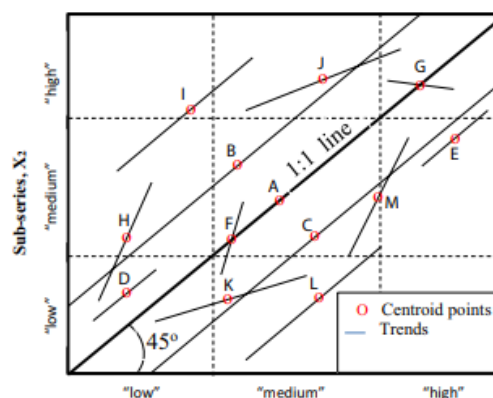


Figura 3.2 - Tendências parciais diferentes no modelo de *Innovative trend*

Através da Figura 3.3, é possível retirar informações com base na disposição das retas definidas, e do círculo vermelho de cada linha de tendência (ponto médio aritmético das duas metades), é possível obter a seguinte informação (Şen 2017; Almazroui & Şen, 2020):

1. Linhas de tendência paralelas à linha de 1:1 (45°) implica um aumento ou diminuição, que é constante (B e C), enquanto as linhas parciais (D, E, I e L), abrangem classificações inferiores ("baixo", "médio" ou "alto"). Se o centroide estiver sobre a linha reta de 1:1 (45°), então existe tendência;
2. Linhas de tendência não paralelas (F, G, H, J, K ou M) à linha reta de 1:1 (45°) implicam uma mudança no padrão de desvio com o tempo;
3. As linhas retas F e G têm tendências no desvio padrão, mas não na média aritmética.
4. Linhas de tendência, H (K) e J (M) implicam uma tendência de desvio padrão crescente (decrecente).

### 3.3 Modelação hidrogeológica

No seguimento da análise dos dados referentes ao capítulo 4, será importante avaliar e compreender, nos sectores mais relevantes, as possíveis causas que possam influenciar e

condicionar os resultados. Para averiguar esses fenómenos foi realizada a construção de um modelo de escoamento.

Os modelos de escoamento constituem uma representação física e numérica, através de equações do escoamento subterrâneo, dados e registos dos mesmos (fluxos naturais dos aquíferos, recargas e extrações ocorridas no aquífero), que permitem simular com maior aproximação da realidade o comportamento de um sistema de forma simples e eficiente, desde que os dados de input sejam suficientemente fidedignos e representativos da realidade. Assim, a aplicação de um modelo permite, neste sentido, sistematizar informações, funcionando como um instrumento de planeamento, previsão e gestão de situações reais (Barbosa, 2012).

Na construção destes modelos é necessário definir os dados físicos e os dados hidrogeológicos que são obtidos na literatura, através de ensaios, dados de sondagem e através de dados geofísicos. Além destes dados, deve-se ter em consideração os fatores do meio ambiente, como a taxa de recarga do sistema aquífero e os fatores antrópicos.

Com a definição dos parâmetros segue-se a calibração do modelo, onde se faz um ajuste dos parâmetros que são desconhecidos do modelo, de modo a minimizar a incerteza, dada a complexidade em definir a distribuição espacial e temporal exata dos valores de parâmetros no domínio do problema. A calibração induz, ainda, uma análise de sensibilidade das variáveis e parâmetros do modelo, que deve ser considerada na avaliação da respetiva importância relativa de tais variáveis. A análise de sensibilidade é realizada para averiguar em o efeito de incerteza do modelo calibrado induzido por certa(s) variável(eis).

Para a situação em estudo, a modelação do sistema aquífero será realizada com base no programa PMWIN versão 5.3.1 que é um software de modelação do fluxo de águas subterrâneas, baseado no modelo matemático de diferenças finitas. Este software foi desenvolvido pela *United States Geological Survey* (USGS) e recorre ao método das diferenças finitas para dividir o domínio do modelo do fluxo de escoamento numa malha formada por células, em que cada uma delas representa as propriedades hidrogeológicas e limites hidrogeológicos dentro do domínio do modelo (Chiang et al., 1998). O programa PMWIN baseia-se em equações matemáticas que descrevem o fluxo de águas subterrâneas, com base na integração da Lei de Darcy e da Lei da Conservação de Massa.

A Lei de Darcy enuncia que a velocidade de escoamento de água, através de um meio poroso, saturado, homogéneo e isotrópico, é proporcional ao gradiente hidráulico (Hipólito & Vaz, 2011).

$$q = K * i$$

em que  $i = dh/dl$

(eq. 3.14)

Em que  $K$  é condutividade hidráulica (L/T),  $i$ , gradiente hidráulico e  $q$  vazão específica (L<sup>2</sup>/T)

Através da Lei de Darcy, pode-se determinar o caudal específico  $Q$ , (L<sup>3</sup>/T), numa determinada área (L<sup>2</sup>) pela seguinte formula:



$$Q = K * i * A \quad (\text{eq. 3.15})$$

A lei a Darcy só pode ser aplicada a meios com regime de escoamento laminar e porosos.

A Lei da Conservação de Massa afirma que a quantidade de água que entra no sistema, menos a quantidade de água que sai, representa a variação do volume de água que é armazenado, por unidade de tempo (Hipólito & Vaz, 2011).

$$\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial x} = 0 \quad (\text{eq. 3.16})$$

Integrando estas duas leis, podemos obter a Lei de Escoamento Subterrâneo, que se traduz nas seguintes equações:

$$\text{div} (K \text{ grad } h) = S_s \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right) \quad (\text{eq. 3.17})$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) \pm R(x, y, z) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{eq. 3.18})$$

Em que  $R(x, y, z)$  é a o balanço hidráulico, de massa de água no sistema, que na situação de um regime estacionário seria igual a zero, pois não existem perdas no sistema e  $S_s$  o coeficiente de armazenamento específico no meio poroso (1/L).



## ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS

Neste capítulo foi realizada a análise e o tratamento de dados referentes aos furos e poços que constam na base de dados do SNIRH, que se encontram representados na Figura 4.1 e as informações referentes aos mesmos no anexo A1. Como foi referido no Capítulo 3, foram recolhidas informações relativamente à piezometria e aos elementos químicos.

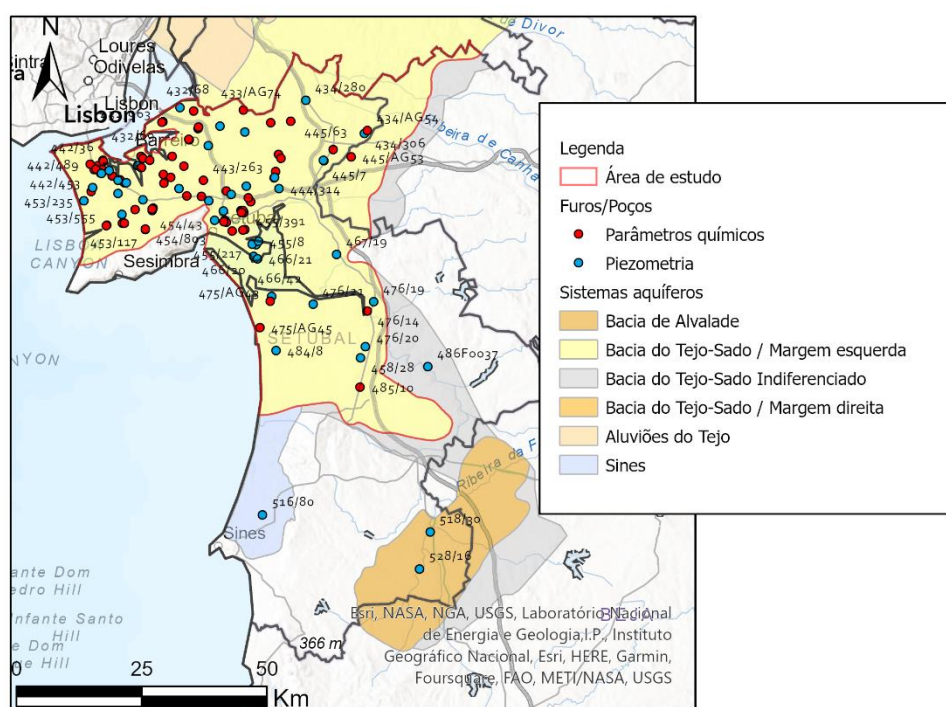


Figura 4.1 - Localização dos furos e poços utilizados para o tratamento de dados

A seleção dos dados teve em consideração os perfis dos diferentes parâmetros, sendo os principais a localização, a formação (ou formações) que alimentam os furos e a duração da série temporal. Para além destes parâmetros considerou-se também dados referentes aos outros sistemas aquíferos que se encontram nas zonas limítrofes da área em estudo, para salvarguardar e complementar a informação. Para a análise de perfis hidroquímicos, procedeu-se à escolha dos furos e poços que contêm informação sobre os elementos representativos para a caracterização das fácies hidroquímicas (catiões e aniões). É de referir que os pontos de água considerados para análise hidroquímica nem sempre correspondem aos considerados para desenvolvimento do modelo numérico de escoamentos subterrâneos.

## 4.1 Piezometria

### 4.1.1 Abordagem inicial

Os dados utilizados para o estudo apresentam séries temporais que iniciam no ano de 1990 e que prosseguem até 2021. Numa primeira fase, para compreender como se comporta do fluxo subterrâneo da área de estudo, realizou-se, através do processo de Krigagem normal, a distribuição espacial do nível de água longo dos últimos 40 anos. Os dados foram subdivididos pelas décadas de 1990/2000, 2000/2010, 2010/2020 e >2020 e os resultados da Krigagem encontram-se na Figura 4.2.

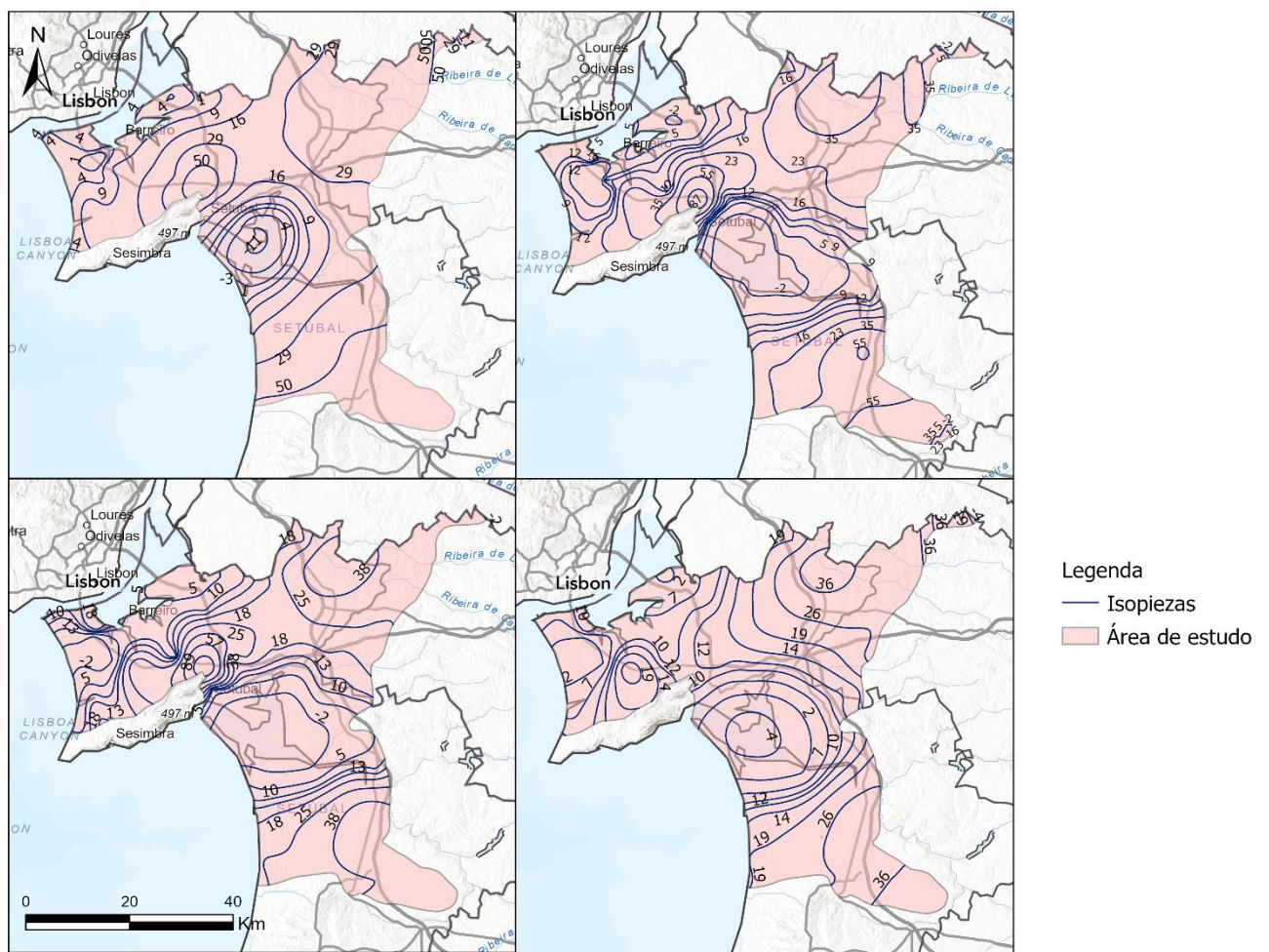


Figura 4.2 - Variação do nível piezométrico ao longo das décadas; a) Década 90-00; b) Década 00-10; c) Década 10-20; d) Anos >2020 (definidas à mesma escala);

Verificou-se, de uma forma geral, que o escoamento das águas subterrâneas divergir em 4 direções. No sector Norte da área o fluxo segue, principalmente, em direção ao estuário do Tejo, exceto a oeste, onde o fluxo de água segue em direção ao Oceano Atlântico. No sector central, o fluxo assume duas direções, sendo que numa o fluxo segue para o estuário do Tejo

e noutra para o estuário do Sado. No sector Sul da área, o fluxo acompanha o rio Sado, exceto a oeste, onde o fluxo segue em direção ao Oceano Atlântico. Estas direções são as expectáveis tendo em consideração as morfologias do terreno e condições fronteiras existentes (estuário do rio Tejo, estuário do rio Sado, Oceano Atlântico).

Do ponto de vista evolutivo, constata-se que o nível piezométrico sofreu um rebaixamento significativo no sector junto ao Sado, enquanto no sector Norte ocorreu um aumento. Observa-se que a partir do ano 2000, o fluxo sofre alterações visíveis, no sector S junto à margem direita do rio Sado, verificando uma diminuição da piezometria. Esta tendência poderá estar a ser incrementada e enviesada devido à perda de informação referente ao furo 467/20 (desativado desde 1999).

Para compreender a evolução dos dados numa fase inicial, determinou-se a variação total das diferenças da média da profundidade do nível de água desde 1990 até 2021. Foram utilizados os furos e poços que continham uma série temporal mais completa. O resultado obtido, está representado na Figura 4.3.

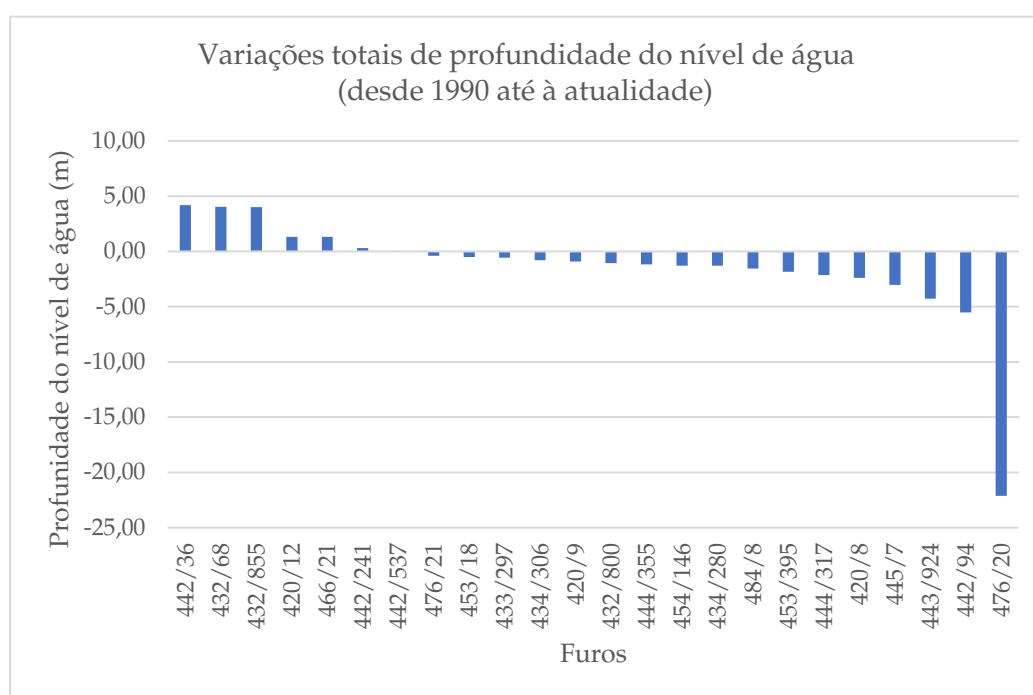


Figura 4.3 - Gráfico da variação da profundidade do nível de água total registada aos longo dos últimos 40 anos

Analisando o gráfico, constata-se que na maior parte dos furos registou-se um aumento da profundidade do nível de água no sistema, sendo mais significativo nos furos 443/924, 442/94 e 476/20, enquanto os furos 442/36, 432/68 e 432/855 apresentam uma diminuição da profundidade do nível de água. Tendo em consideração a Figura 4.3, sabe-se que os furos em que se verificou um aumento da profundidade se encontram dispersos pela bacia. Contudo, os furos 442/36, 432/68, 432/855, 420/12 e 466/ encontram-se localizados junto ao estuário do Tejo, exceto o ponto 466/21, que se localiza no estuário do Sado.

Posteriormente, com os valores obtidos analisou-se, em qual das décadas se verificou-se as maiores variações registadas. Para tal realizou-se a diferença do valor da variação total com as diferenças entre cada década. Os resultados encontram-se demonstrados na Figura 4.4. Verificou-se que entre as décadas 2000/2010 e 2010/2020 ocorreram as maiores variações, sendo estas negativas, sugerindo que nesses períodos ocorreu um aumento da profundidade do nível de água. Nos furos mencionados, verifica-se que é na década de 2010/2020 que as variações são mais significativas nos furos onde ocorreu uma diminuição da profundidade. Não é possível tirar conclusões sobre a década de 1980/1990 dada a falta de furos com essa informação.

De uma forma geral, é possível concluir que ocorreu um aumento da profundidade do nível da água geral em toda a bacia, com exceção do sector do estuário do Tejo. É de salientar que o sector Sul da área apresenta resultados com variações positivas significativos, como o caso do furo 476/20 e 476/21 e 484/8, nos últimos 10 anos.

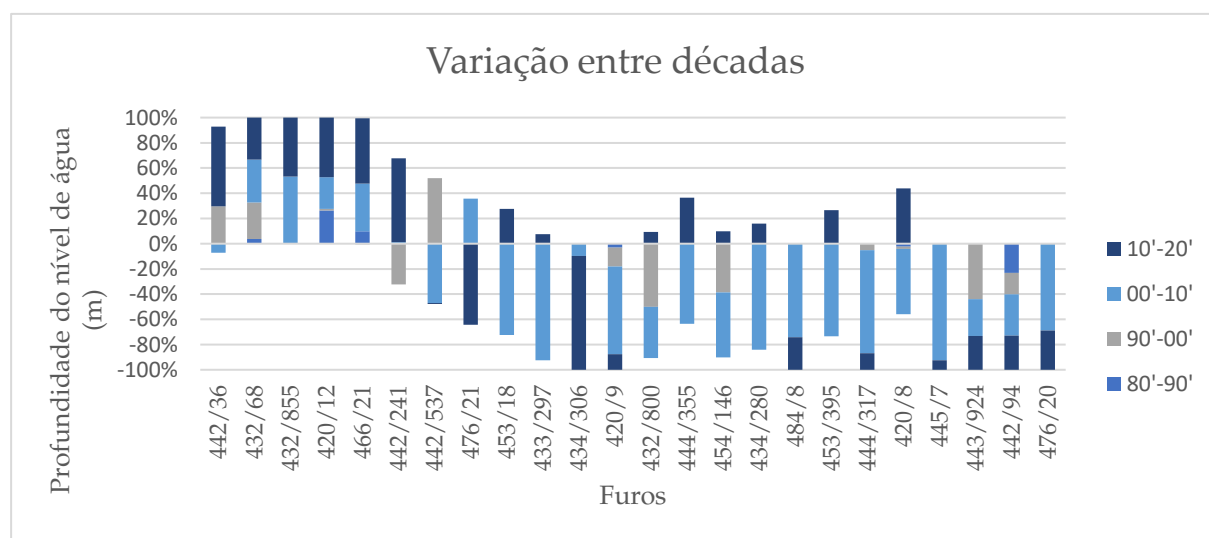


Figura 4.4 - Diferença percentual da variação da profundidade do nível de água

Esta situação pode estar relacionada com a diminuição da taxa de recarga, que não permite restabelecer água no sistema, devido à impermeabilização do solo em consequência da ação antrópica, e na eventualidade com o aumento da temperatura. Contudo, algumas das variações existentes sugerem a presença de efeitos à escala local, tal como o caso do furo 476/20. Neste furo não se observa influência antrópica, logo as possíveis causas associadas à ocorrência do aumento da profundidade do nível de água poderão estar associadas a causas naturais (comportamento geológico, estrutural ou ambiental).

Para compreender com maior detalhe a evolução dos dados, aplicaram-se as técnicas mencionadas no Capítulo 3, e realizou-se uma análise de padrões evolutivos, que permitiu obter, as seguintes informações: (1) determinação das variações da profundidade do nível de água em cada furo; (2) se os padrão de evolutivos são constantes ou não, ao longo do tempo; e (3) tendência crescente ou decrescente na série de dados. Estes tipos de análises estatísticas permitiram construir, assim, padrões evolutivos referentes a cada furo.

## 4.2 Análise dos padrões evolutivos

Para a determinação dos padrões evolutivos, recorreu-se a técnicas de análise multivariada e de tendências. Nesta etapa fez-se à análise do parâmetro “profundidade do nível de água no furo”. A interpretação destes dados iniciou-se com as técnicas de análise multivariada, seguindo, posteriormente, para a análise de tendências. Em relação às técnicas de análise multivariada analisou-se os dados com uma escala temporal de anos (média anual), enquanto na análise de tendências recorreu-se à leitura em meses (médias mensais).

Para as duas técnicas foram considerados os furos que contivessem dados desde 2006 até 2021, dado ao facto de existirem um maior número de furos, bem como, séries temporais mais completas para este horizonte temporal.

Foram utilizados os furos referentes à bacia, bem como os furos pertencentes a outros sistemas aquíferos que se encontram em comunicação com o sistema em estudo, de modo a compreender e facilitar a análise e interpretação dos resultados. Foram, assim, adicionados para efeitos de análise os furos 487/36 (Maciço indiferenciado), 516/300, 518/60 e 528/16 (Alvalade) e 516/30 (Sines).

Independentemente da técnica, foi necessário em alguns casos efetuar algumas correções nos dados, sobretudo devido à presença de lacunas nos registos. Visto que as técnicas contempladas não permitem analisar registos temporais incompletos, foram adotadas as seguintes correções:

- o valor do ano (análise multivariada) ou mês anterior (análise de tendência);
- o valor da média dos últimos 3 anos (análise multivariada) ou 3 meses.(análise de tendências).

### 4.2.1 Análise multivariada

Nesta etapa, a análise dos dados segue a informação das estações representadas na Tabela 4.1, onde foram consideradas as médias anuais dos dados de profundidade do nível de água, entre 2006 e 2021.

A análise dos dados neste subcapítulo segue a seguinte ordem: Análise FAMD; K-means e HCPC.

#### 4.2.1.1 FAMD

Como foi referido no capítulo 3, a análise FAMD analisa os dados quantitativos e qualitativos. No caso de estudo os anos representam as variáveis quantitativas, enquanto o próprio furo representa a variável qualitativa.



Tabela 4.1 - Valor médio da profundidade do nível de água desde 2006 a 2021

| Furos/Poços | Ano  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 420/105     | 0,9  | 0,9  | 0,9  | 0,9  | 0,9  | 1,1  | 1,1  | 1,1  | 1,1  | 1,1  | 1,1  | 1,4  | 1,5  | 1,1  | 1,0  | 1,1  |
| 420/12      | 6,8  | 6,0  | 6,2  | 7,1  | 6,2  | 5,5  | 6,9  | 5,9  | 5,5  | 6,7  | 6,2  | 7,0  | 6,8  | 7,3  | 7,1  | 6,9  |
| 420/8       | 28,1 | 26,0 | 26,7 | 29,4 | 27,5 | 27,2 | 27,1 | 27,9 | 26,9 | 27,3 | 25,7 | 33,3 | 26,0 | 28,0 | 27,4 | 29,0 |
| 420/9       | 27,1 | 28,5 | 26,0 | 28,6 | 26,8 | 26,7 | 26,4 | 27,1 | 26,1 | 26,4 | 25,1 | 32,4 | 28,0 | 27,1 | 26,0 | 28,3 |
| 432/68      | 9,8  | 9,5  | 9,7  | 10,4 | 9,8  | 9,4  | 9,4  | 9,9  | 9,0  | 11,7 | 8,8  | 11,8 | 9,7  | 9,9  | 10,1 | 9,8  |
| 432/800     | 2,6  | 1,9  | 1,2  | 3,1  | 2,3  | 2,0  | 1,9  | 2,5  | 1,8  | 2,3  | 1,1  | 3,3  | 3,0  | 3,2  | 3,1  | 4,2  |
| 432/855     | 21,3 | 21,1 | 21,0 | 21,6 | 21,4 | 20,7 | 20,4 | 19,9 | 18,9 | 18,6 | 18,0 | 18,1 | 17,6 | 17,7 | 17,5 | 16,8 |
| 433/297     | 13,7 | 13,3 | 13,3 | 14,2 | 13,7 | 13,1 | 13,0 | 13,5 | 13,2 | 13,1 | 12,7 | 14,0 | 14,2 | 14,3 | 14,1 | 14,2 |
| 434/280     | 35,1 | 36,5 | 35,1 | 36,6 | 35,5 | 35,3 | 35,1 | 35,7 | 35,3 | 35,4 | 34,5 | 35,3 | 36,1 | 36,5 | 36,3 | 37,4 |
| 434/306     | 46,9 | 47,0 | 46,9 | 47,1 | 47,0 | 47,0 | 47,0 | 47,0 | 47,2 | 47,1 | 46,9 | 47,3 | 47,2 | 47,3 | 47,3 | 47,2 |
| 442/241     | 3,7  | 3,3  | 3,7  | 3,8  | 2,9  | 3,0  | 3,2  | 3,4  | 3,1  | 3,2  | 3,4  | 3,9  | 3,9  | 4,0  | 4,0  | 4,4  |
| 442/36      | 11,4 | 8,8  | 8,8  | 8,0  | 6,3  | 5,4  | 5,7  | 6,2  | 5,4  | 5,6  | 4,3  | 6,3  | 5,7  | 6,7  | 7,5  | 8,2  |
| 442/537     | 33,7 | 33,6 | 32,9 | 31,5 | 32,9 | 33,1 | 31,9 | 31,7 | 31,1 | 30,5 | 31,2 | 30,1 | 31,0 | 32,4 | 31,2 | 33,4 |
| 442/94      | 20,1 | 20,2 | 20,3 | 19,8 | 20,8 | 20,8 | 20,1 | 19,9 | 19,8 | 19,4 | 18,7 | 19,3 | 19,2 | 20,0 | 19,9 | 22,0 |
| 443/924     | 52,8 | 52,8 | 52,7 | 53,6 | 53,4 | 53,2 | 52,7 | 53,2 | 52,6 | 53,0 | 51,3 | 53,7 | 53,0 | 53,4 | 54,4 | 55,5 |
| 444/317     | 25,5 | 25,1 | 25,5 | 26,3 | 25,8 | 25,2 | 25,3 | 25,7 | 24,9 | 25,9 | 24,4 | 26,9 | 27,0 | 27,4 | 27,4 | 27,2 |
| 444/355     | 16,2 | 16,1 | 16,3 | 16,7 | 16,0 | 14,7 | 14,6 | 14,7 | 14,0 | 14,1 | 14,4 | 15,9 | 15,7 | 16,5 | 17,0 | 17,6 |
| 445/7       | 51,7 | 51,4 | 51,7 | 52,8 | 52,0 | 51,7 | 51,8 | 51,9 | 51,8 | 52,2 | 51,0 | 53,5 | 52,3 | 51,9 | 53,5 | 55,5 |
| 453/18      | 58,9 | 58,9 | 59,0 | 59,7 | 59,5 | 59,4 | 59,1 | 58,8 | 58,8 | 58,6 | 57,7 | 58,7 | 58,0 | 58,8 | 58,9 | 60,1 |
| 453/395     | 29,5 | 29,7 | 29,5 | 29,9 | 30,0 | 29,4 | 29,0 | 29,2 | 28,4 | 28,3 | 27,3 | 28,8 | 27,4 | 26,9 | 31,4 | 28,6 |
| 454/146     | 9,1  | 8,6  | 9,2  | 9,6  | 8,6  | 7,6  | 8,1  | 7,8  | 7,3  | 7,5  | 7,8  | 8,8  | 9,2  | 9,8  | 9,5  | 9,9  |
| 466/21      | 15,0 | 14,2 | 13,4 | 15,9 | 17,2 | 17,8 | 16,9 | 16,8 | 17,3 | 17,8 | 16,9 | 19,2 | 17,1 | 16,3 | 18,2 | 18,0 |
| 476/20      | 35,4 | 34,3 | 34,3 | 35,8 | 37,3 | 37,3 | 38,7 | 39,2 | 39,3 | 39,8 | 41,1 | 41,2 | 42,1 | 41,9 | 55,4 | 59,2 |
| 476/21      | 9,6  | 9,0  | 8,6  | 9,1  | 8,9  | 9,3  | 9,6  | 9,3  | 9,2  | 9,2  | 8,7  | 10,4 | 9,8  | 10,4 | 9,4  | 10,5 |
| 484/8       | -0,1 | -0,8 | -0,9 | -0,6 | -0,8 | -1,0 | -1,0 | -0,5 | -1,0 | -0,7 | -0,3 | -0,7 | 0,0  | 0,6  | 0,9  | 1,1  |
| 518/30      | 17,2 | 15,4 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 16,7 | 17,2 | 15,2 | 16,3 | 17,9 | 18,8 | 19,7 | 18,2 | 18,5 | 17,5 | 21,7 |
| 528/16      | 11,0 | 11,0 | 10,1 | 10,1 | 10,1 | 10,1 | 10,8 | 9,9  | 9,6  | 9,8  | 10,3 | 10,5 | 10,3 | 11,1 | 12,2 | 14,8 |

Começando a interpretação dos dados quantitativos, o algoritmo, ao aplicar os princípios da análise PCA, inerentes à técnica do FAMD, obtém as dimensões onde ocorre a projeção dos valores próprios, recorrendo ao Diagrama de Pareto (Figura 4.5).

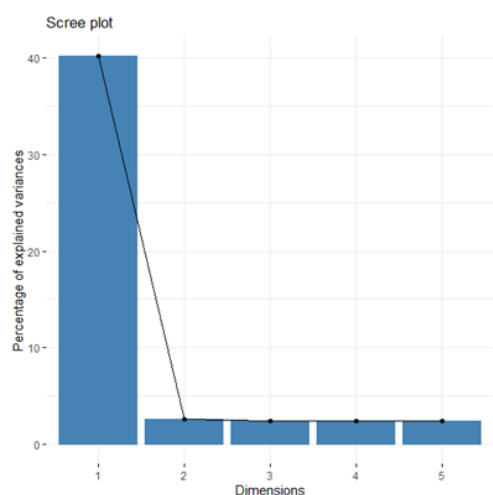


Figura 4.5 - Gráfico de Pareto, que representa o grau de importância de cada Dimensão.

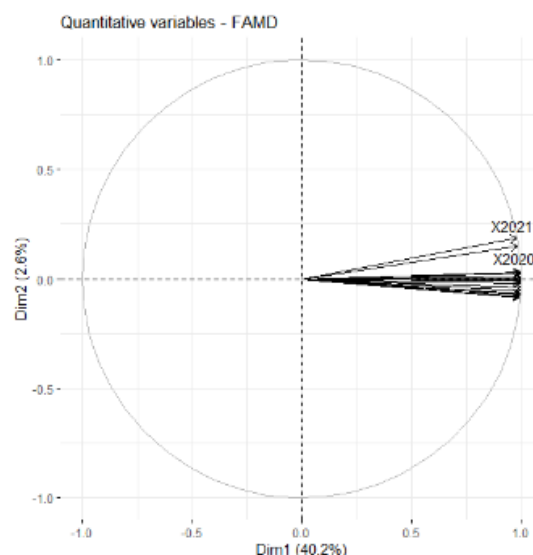


Figura 4.6 - Projeção das variáveis quantitativas referentes ao eixo Dim1 e Dim2.



Verifica-se uma correlação elevada (onde recai a maior informação) dos dados segundo a Dimensão 1, com cerca de 40% de variância, seguindo-se a Dimensão 2, com 2.59%.

Observando a projeção dos resultados segundo as duas direções, na Figura 4.6, constata-se que o eixo Dim1 representa, praticamente, todas as variáveis de partida, sendo que estas estão correlacionadas positivamente entre si. No eixo Dim2 são representadas as variáveis, referentes aos anos 2006 até 2019 na parte negativa, enquanto as variáveis referentes aos anos 2020 e 2021 ocorrem na parte positiva. Com base na análise, é possível admitir que as variáveis X2006 até X2021 estão bem correlacionadas entre si. Isto significa que as variações da profundidade do nível de água em cada furo não foram significativas ao longo do tempo. Contudo, as variáveis X2020 e X2021, comparativamente aos outros anos, apresentam valores diferentes, relativamente aos restantes anos, sugerindo que nos anos 2020 e 2021 as variações foram mais significativas. Observando a Tabela 4.1 percebe-se essa diferença, sobretudo nos furos 453/395, 528/16, 442/36, 442/94, 5818/30, 528/16, 434/306 e 445/7.

Analisando, posteriormente, a projeção das variáveis qualitativas em indivíduos, nos eixos fatoriais Dim1 e Dim2, na Figura 4.7, observa-se que a nuvem da população de dados é dispersa, indicado que existem subpopulações. Interpretando os dados com base na distribuição realizada inicialmente, constata-se o seguinte:

- Verifica-se que da esquerda para a direita, segundo a tendência crescente da Dimensão 1, a profundidade do nível de água aumenta, isto é, a média das profundidades do nível de água aumenta;
- De baixo para cima, segundo a tendência crescente da Dimensão 2, observa-se que a evolução da profundidade é mais constante ao longo do tempo;

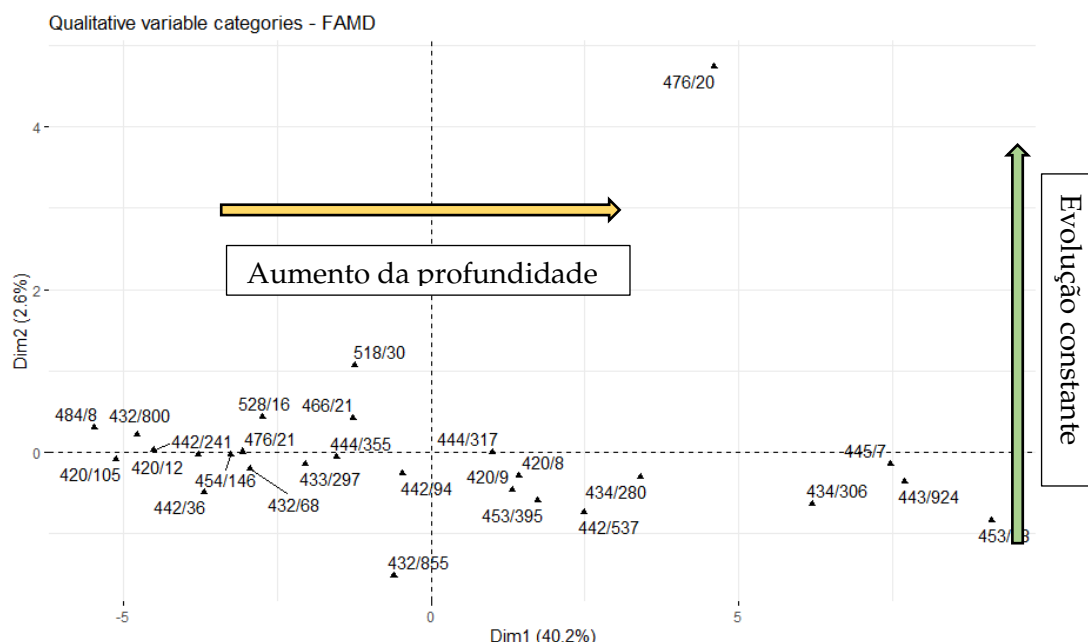


Figura 4.7 - Distribuição da variável qualitativa segundo as Dim1 e Dim2

É possível concluir, assim, que as séries de dados com maior valor de coordenada positiva na Dimensão 1, dizem respeito aos casos em que os furos apresentam maiores tendências



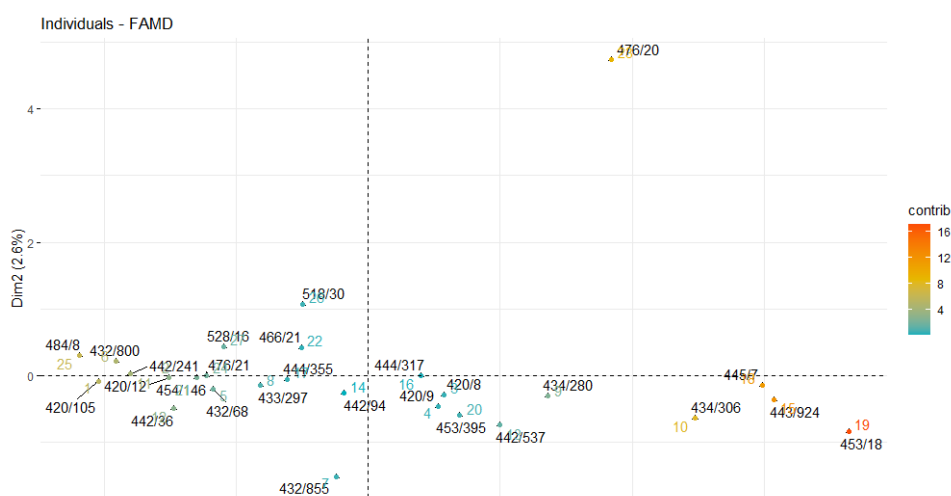


Figura 4.9 - Representação do *contribution* relativa dos indivíduos

Da análise FAMD, como é descrita no Capítulo 3, desta resulta os valores *score* que estão definidos na Tabela 4.2. Para analisar a distribuição destes valores, realizou-se a Krigagem normal dos mesmos, de modo a observar a preponderância do valor de cada indivíduo em cada eixo.

Tabela 4.2 - Dados dos scores referentes à análise FAMD

| Furos/Poços | Individuos | Dim1   | Dim2   |
|-------------|------------|--------|--------|
| 420/105     | 1          | -5,11  | -0,092 |
| 420/12      | 2          | -3,777 | -0,034 |
| 420/8       | 3          | 1,431  | -0,284 |
| 420/9       | 4          | 1,326  | -0,459 |
| 432/68      | 5          | -2,939 | -0,209 |
| 432/800     | 6          | -4,771 | 0,22   |
| 432/855     | 7          | -0,601 | -1,52  |
| 433/297     | 8          | -2,035 | -0,143 |
| 434/280     | 9          | 3,398  | -0,306 |
| 434/306     | 10         | 6,19   | -0,64  |
| 442/241     | 11         | -4,502 | 0,024  |
| 442/36      | 12         | -3,682 | -0,492 |
| 442/537     | 13         | 2,488  | -0,742 |
| 442/94      | 14         | -0,46  | -0,266 |
| 443/924     | 15         | 7,688  | -0,363 |
| 444/317     | 16         | 1      | -0,002 |
| 444/355     | 17         | -1,533 | -0,055 |
| 445/7       | 18         | 7,463  | -0,149 |
| 453/18      | 19         | 9,097  | -0,841 |
| 453/395     | 20         | 1,735  | -0,593 |
| 454/146     | 21         | -3,252 | -0,028 |
| 466/21      | 22         | -1,265 | 0,419  |
| 476/20      | 23         | 4,6    | 4,74   |
| 476/21      | 24         | -3,058 | 0,007  |
| 484/8       | 25         | -5,466 | 0,308  |
| 518/30      | 26         | -1,233 | 1,068  |
| 528/16      | 27         | -2,732 | 0,431  |

Para analisar a distribuição destes valores, realizou-se a Krigagem normal dos mesmos, de modo a observar a preponderância do valor de cada indivíduo em cada eixo que consta na Figura 4.10.

Na Figura 4.10, conclui-se que os locais com *score*, segundo a Dim1, mais elevado, correspondem aos dados em que o aumento da profundidade foi mais significativo ao longo do tempo, enquanto os valores mais baixos indicam que ocorreu uma diminuição dos dados. Com esta informação é possível aferir que no interior da bacia se observa um rebaixamento do nível piezométrico. Para os valores de Dim2 observa-se que os valores negativos representam dados com maior oscilação, isto é, não apresentam uma tendência constante, como no caso dos furos 476/21, 476/20, 484/8, 518/30 e 528/16, que apresentam valores positivos. Isto sugere que os furos no interior da bacia e junto ao estuário do Tejo sofrem maiores oscilações na evolução dos dados, podendo estes resultar da ação antrópica, face aos valores de recarga do sistema.

Com a informação obtida, é possível aferir que existem furos com comportamento semelhantes, como é o caso dos furos 453/18, 453/395, 443/924 e 442/94. Deste modo, e para compreensão em maior detalhe da evolução espaço-temporal da profundidade do nível de água partiu-se para a análise e determinação desses grupos ou *clusters*, através das técnicas K-means e HCPC.

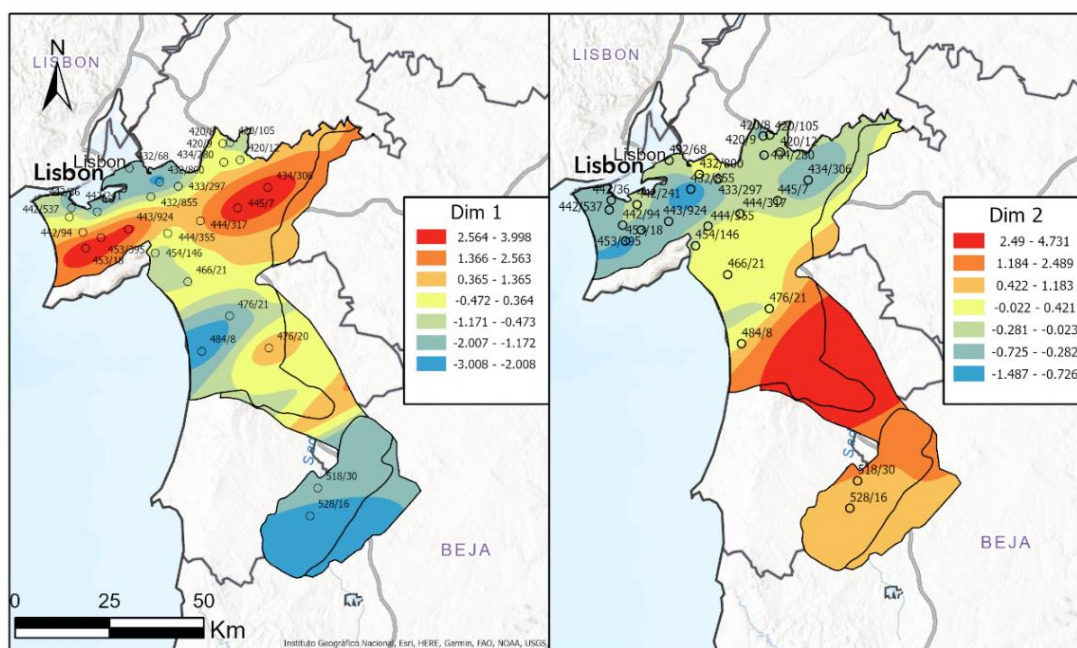


Figura 4.10 - Distribuição dos valores do scores obtidos face às duas dimensões provenientes da análise FAMD

#### 4.2.1.2 K-Means e HCPC

Com os dados que constam na Tabela 4.2 foram executadas as análises de K-means e HCPC. Para o auxílio da análise, construíram-se gráficos com o registro da profundidade do nível de água em função do tempo, em anos, agrupados pelo número do *cluster*, para cada uma das situações. Estes gráficos encontram-se em anexo A.2.

O processo de análise do agrupamento dos indivíduos em *clusters*, iniciou-se com a admissão à partida da existência de 6 *clusters*, que caracterizam o conjunto de indivíduos. Aplicando a função do *K-means*, para a existência de 6 *clusters*, obteve-se a Figura 4.11. Com a análise da figura, observou-se que a distribuição dos indivíduos em 6 *clusters* permite averiguar, a partir da existência de dois *clusters* representativos que se referem aos indivíduos que são caracterizados como *outliers*, em que o indivíduo 23, constitui um único *cluster* (cluster 5) e os indivíduos, 10, 15, 18 e 19 constituem outro *cluster* (cluster 6). Para além destes *clusters*, foi possível realçar o *cluster* 1 constituído pelos indivíduos 1, 6, 11 e 25, em que se observa uma tendência da diminuição da profundidade do nível de água constante. Contudo, com o auxílio dos gráficos da profundidade do nível de água em função do tempo, que constam no anexo A.2, verificou-se que nos *clusters* 4, tal como nos *clusters* 2 e 6, os dados não apresentam o mesmo comportamento, isto é, não seguem a mesma evolução temporal. No *cluster* 2 os indivíduos 3, 14 e 16 apresentam uma evolução mais constante, sem grandes variações, ao contrário dos indivíduos 9, 13 e 20. No *cluster* 4, o indivíduo 19 não tem a mesma evolução dos dados que os restantes indivíduos, uma vez que não se verifica uma tendência crescente dos dados. O *cluster* 6 apresenta o mesmo problema, apresentando os indivíduos maior variabilidade ao longo do tempo. Nesse mesmo *cluster*, apenas os indivíduos 7 e 22 têm uma tendência decrescente.

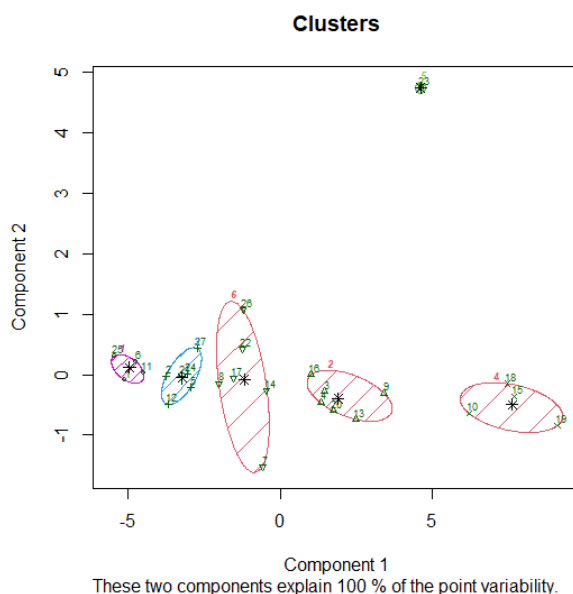


Figura 4.11 - Representação da análise de 6 clusters

Considerando 10 *clusters*, definidos na Figura 4.12 em vez de 6, obtiveram-se melhores resultados. Os indivíduos que pertenciam aos *clusters* 2, 4 e 6 encontram-se repartidos em

novos *clusters* que evidenciam comportamentos e características semelhantes. O *cluster* 4 foi repartido em dois novos *clusters* (2 e 9), em que o *cluster* 9 é constituído por um único indivíduo (indivíduo 19). Relativamente ao *cluster* 2, houve uma repartição em dois novos *clusters*, em que os indivíduos se encontram definidos nos *clusters* 6 e 7. O *cluster* 6 contém indivíduos em que existe um aumento da profundidade do nível de água, contudo, pouco significativa e com evolução temporal mais contínua, em comparação ao *cluster* 7. O *cluster* 6, definido inicialmente pela análise de K-means de 6 *clusters* sofreu a maior alteração, dando origem a três novos *clusters*, em que no *cluster* 8 a evolução da profundidade do nível de água apresenta maior variação ao longo do tempo, no *cluster* 3 os valores da profundidade do nível de água são mais contínuos e com uma tendência crescente, enquanto o *cluster* 4 apresenta uma tendência decrescente e menos contínua.

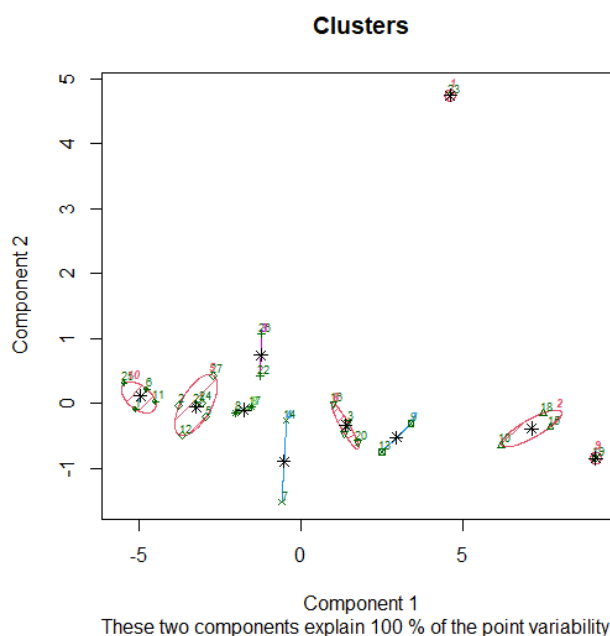


Figura 4.12 - Representação da análise de 10 *clusters*

Apesar de se obter uma melhor repartição e agrupamentos dos indivíduos, foi feita a análise para uma situação de 11 *clusters* para salvaguardar a hipótese anterior. Com base no mesmo processo obteve-se a distribuição dos indivíduos em 11 *clusters* (Figura 4.13). Com a definição dos 11 *clusters* ocorre a repartição do indivíduo 10, do *cluster* original (*cluster* 2 na situação de anterior), que constitui o novo *cluster*. Com base na informação em anexo não faz sentido essa repartição, deste modo, o aumento do número de *clusters* não acrescenta informação relevante, pelo que a divisão em 10 *clusters* seja que se aproxima da realidade.

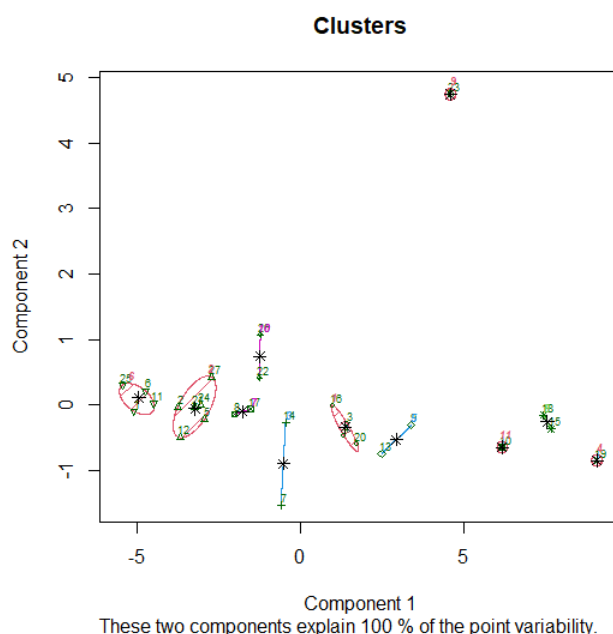


Figura 4.13 - Representação da análise de 11 clusters

Independentemente da análise do HCPC, é possível aferir, que à partida, na bacia a evolução da profundidade do nível de água, bem como a sua tendência variam, verificando-se a existência de 10 situações distintas. De uma forma geral, metade da população de dados apresenta um aumento da profundidade e oscilações ao longo do tempo. Para expor de forma mais detalhada a informação construiu-se a Tabela 4.3, que resume as características referentes a cada cluster.

Tabela 4.3 - Resumo das características de cada cluster

| Nº do cluster | Indivíduos            | Evolução        | Número de oscilações                | Tendência                         |
|---------------|-----------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1             | 23                    | Constante       | Reduzido                            | Aumento da profundidade           |
| 2             | 10, 15 e 18           | Pouco constante | Elevado                             | Aumento da profundidade           |
| 3             | 22 e 26               | Constante       | Reduzido                            | Aumento da profundidade           |
| 4             | 7 e 14                | Constante       | Reduzido (com uma grande oscilação) | Diminuição da profundidade        |
| 5             | 2, 5, 12, 21, 24 e 27 | Pouco constante | Reduzido                            | Aumento da profundidade           |
| 6             | 3, 16 e 20            | Pouco constante | Reduzido                            | Aumento da profundidade (pequeno) |
| 7             | 9 e 13                | Constante       | Reduzido                            | Não existe tendência              |
| 8             | 8 e 17                | Não é constante | Elevado                             | Aumento da profundidade (pequeno) |
| 9             | 19                    | Não é constante | Reduzido                            | Aumento da profundidade           |
| 10            | 1, 6, 11, 25          | Pouco constante | Pouca                               | Aumento da profundidade           |

Para complementar a análise dos resultados, realizou-se uma análise HCPC, onde se verificou a similitude dos indivíduos. Observando o dendrograma resultante dos dados obtidos, é possível a ocorrência de três grandes ramos. Um dos ramos apresentou um comportamento mais anômalo, formado pelos indivíduos com uma evolução crescente do aumento da profundidade do nível piezométrico, mas gradual, em que o indivíduo 19, corresponde ao *outlier*,

como já foi referido anteriormente. O ramo central apresenta tendências que não variaram de forma significativa, ao longo do tempo, enquanto o ramo dextro verifica-se o oposto.

Para determinar o número de *clusters* representativo, analisou-se os valores de corte. Iniciando com um valor de corte de 2, verificou-se uma repartição dos indivíduos em 3 *clusters* que se apresentam na Figura 4.14. Contudo, dada a informação analisada anteriormente, sabe-se que esta não é realista. Desse modo, para a definição do número de *clusters* analisou-se a dimensão dos ramos. Quanto menor for a dimensão mais semelhante é a informação entre os indivíduos. Assim, analisaram-se duas possibilidades, uma cujo valor de corte é de 0,75 e a outra de 0,25.

Para a primeira situação, verificou-se uma repartição considerável dos indivíduos pelos *clusters*. Contudo, analisando os *clusters* 3 e 4, verifica-se que estes não se encontram bem definidos, tendo por base os gráficos referentes em anexo. Seguidamente, analisou-se o valor de corte de 0,25, que demonstrou uma repartição dos dados mais significativa e sem grandes problemas, o que permitiu definir 10 *clusters*.

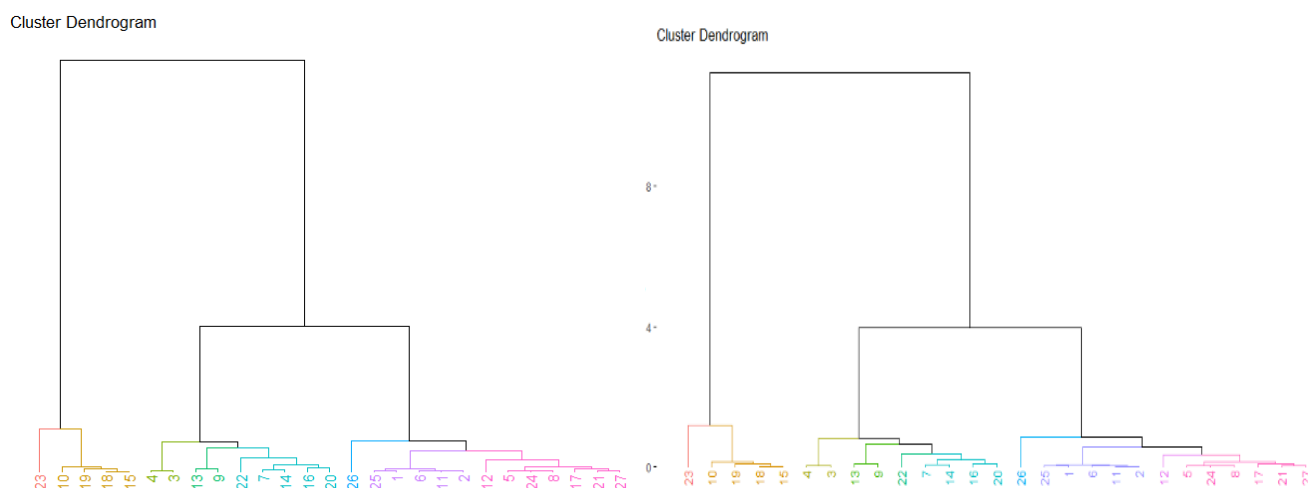


Figura 4.14 - Representação dos dendrogramas da análise HCPC para valores de corte da ordem 0,75 (a) e de 0,25 (b)

Avaliando as duas técnicas em conjunto, verificam-se algumas diferenças relativamente a 3 *clusters*, nomeadamente, nos *clusters* 5, 9 e 10 na análise de HCPC como se observa na Figura 4.14. Verifica-se um comportamento anómalo e os restantes correspondem a situações a profundidades com tendências decrescentes, representados pelos *clusters* 9 e 10. Isto deve-se ao facto do K-means utilizar os dados da análise FAMD, que estão organizados com base nas médias de cada série, sendo esta uma consequência direta dos dados, enquanto a HCPC não é afetada por estes fenómenos. Entre as duas técnicas é possível afirmar que a análise HCPC é mais vantajosa que a de K-means, dado o pormenor mencionado anteriormente.



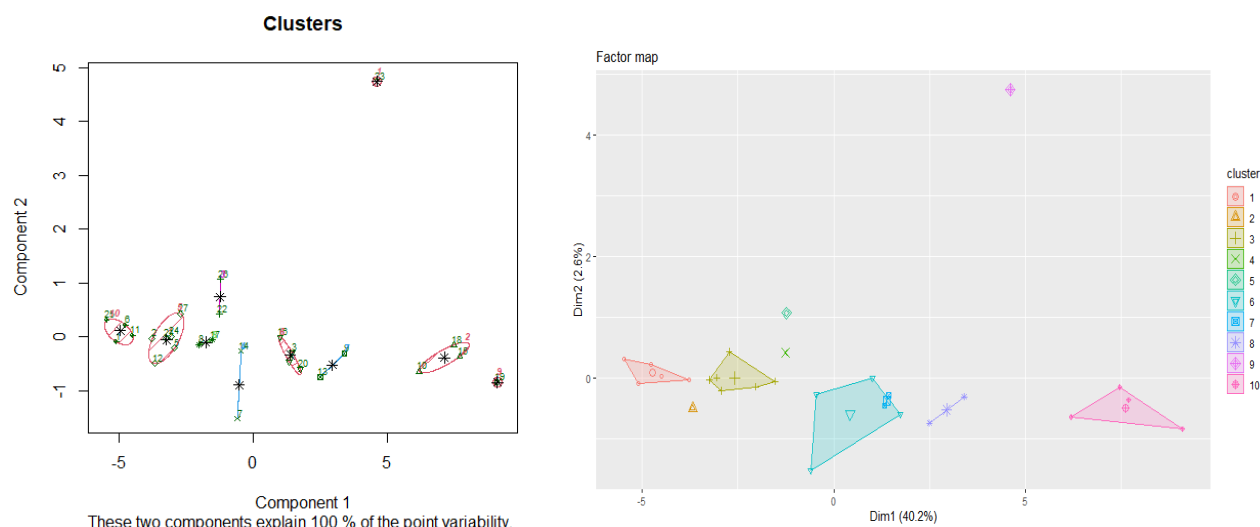


Figura 4.15 - Projeção gráfica de 10 clusters obtidas pelas técnicas K-means (a) e da análise HCPC

Aplicando a mesma linha de pensamento que foi executada na análise do *K-means* organizou-se a informação relativa a cada *cluster* no ponto de vista da evolução e da tendência na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Tabela resumo das características de cada cluster proveniente da análise HCPC

| Nº do <i>cluster</i> | Indivíduos                   | Evolução        | Oscilações                          | Tendência                         |
|----------------------|------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1                    | 1, 6, 11, 25                 | Não é constante | Reduzido                            | Aumento da profundidade           |
| 2                    | 12                           | Pouco constante | Elevado                             | Diminuição da profundidade        |
| 3                    | 26                           | Pouco constante | Reduzido                            | Aumento da profundidade           |
| 4                    | 22                           | Constante       | Reduzido                            | diminuição da profundidade        |
| 5                    | 2, 5, 8, 12, 17, 21, 24 e 27 | Constante       | Reduzido (com uma grande oscilação) | Aumento da profundidade           |
| 6                    | 7, 14, 16 e 20               | Pouco constante | Reduzido                            | Aumento da profundidade (pequeno) |
| 7                    | 3                            | Constante       | Reduzido                            | Não existe tendência              |
| 8                    | 9 e 13                       | Não é constante | Elevado                             | Aumento da profundidade (pequeno) |
| 9                    | 23                           | Constante       | Reduzido                            | Aumento da profundidade           |
| 10                   | 10, 15, 18 e 19              | Pouco constante | Reduzido                            | Aumento da profundidade           |

## 4.2.2 Análise de tendências

Para a execução da análise de tendências, foram selecionados os dados com base na informação mensal, de modo a compreender melhor as pequenas variações nas tendências, que não foram possíveis de serem avaliadas na análise multivariada no mesmo intervalo de tempo. Para aplicação desta técnica foram selecionados os dados com maior continuidade temporal (séries praticamente completas), em meses. A análise deste subcapítulo é delineada, primeiramente, pela análise de tendência das evoluções das profundidades do nível de água, através da técnica *Innovative trend* desenvolvida por Şen et al., (2012, 2017 e 2020) e, posteriormente, a análise de MK para comprovar os resultados obtidos.

#### 4.2.2.1 Innovative trend

Aplicando a técnica e os princípios descritos no Capítulo 3, obteve-se a Tabela 4.5, fazendo a análise desta e tendo por base a informação descrita no capítulo 3, foi possível concluir, de forma imediata, 3 situações:

- A maioria dos furos apresenta uma tendência crescente do aumento da profundidade do nível de água;
- Os furos 432/855, 442/36, 442/537, 442/94, 444/355, 453/18, 453/395, 454/151, 466/21 e 476/19 apresentam tendências decrescentes, verificando-se, assim, uma redução da profundidade do nível de água;
- Os furos 444/318 e 454/146 não evidenciam tendências em particular.

Numa primeira avaliação dos resultados é possível aferir que ocorreu um aumento generalizado da profundidade do nível de água no interior da bacia. Com a leitura dos gráficos obtidos, que constam no anexo A.3, foi possível determinar duas situações:

- Furos com uma evolução gradual;
- Furos com evolução anômala.

Os furos com um comportamento gradual apresentam, maioritariamente, tendências positivas, que se encontram bem definidas no intervalo de confiança ( $\alpha$ ). Nos furos com um comportamento anômalo, sendo estes no total 10 (dos quais 3 têm tendências negativas, representados pelos furos, 453/151, 432/855 442/36 enquanto, os restantes 7 têm tendências positivas), não se verifica esta premissa.

Tendo em consideração esses furos, a distribuição dos valores encontra-se fora do intervalo de confiança de 10%, isto sugere que as variações da profundidade foram muito significativas e que ocorreram num curto espaço de tempo. É possível inferir outra hipótese que afirma que a segunda subsérie dos dados tem predominância sobre a primeira subsérie, o que justifica as variações registadas. Os furos com um comportamento gradual apresentam valores de *slope* mais pequenos, comparativamente, com os furos com comportamento anômalo.

Relativamente aos outros parâmetros, constata-se que os furos com comportamento gradual apresentam valores de desvio padrão do *slope* pequenos, enquanto os outros furos apresentam valores iguais ou superiores. Analisando os valores de correlação, estes são bastante elevados, superiores a 0,8. Existe um único valor que apresenta um valor baixo de correlação, inferior a 0,5, que resulta de um episódio em que a profundidade, num primeiro momento, aumentou bruscamente, e num segundo momento, diminuiu bruscamente.

Os furos com um comportamento gradual apresentam valores de *slope* mais pequenos, comparativamente, com os furos com comportamento anômalo.

Em alguns furos, como 432/800, 432/36, 454/151 e 518/30, as tendências não são paralelas à linha de equação 1:1. De acordo com a informação descrita no Capítulo 3, afirma-se que os valores do desvio padrão do *slope*, nestes furos, tendem a variar ao longo do tempo, podendo aumentar ou diminuir.

Tabela 4.5 - Resultados da análise *Innovative Trend*

| Furo/Poço | Nº de dados | Slope, s  | Ordenada (a) | Desvio padrão ( $\sigma$ ) | Desvio padrão do Slope, ( $\sigma_s$ ) | Correlação, $\rho_{y1y2}$ | Nível de confiança | Lower CL  | Upper CL | Hipótese | Decisão | Tipo de trend |
|-----------|-------------|-----------|--------------|----------------------------|--|---------------------------|--------------------|-----------|----------|----------|---------|---------------|
| 420/105   | 189         | 0,001606  | 0,908790     | 0,192864                   | 0,000150                               | 0,493986                  | 0,1                | -0,000247 | 0,000247 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 420/12    | 189         | 0,003743  | 6,227908     | 0,850359                   | 0,000131                               | 0,979975                  | 0,1                | -0,000216 | 0,000216 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 420/8     | 189         | 0,002816  | 27,754173    | 2,747019                   | 0,000432                               | 0,978822                  | 0,05               | -0,000846 | 0,000846 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 420/9     | 189         | 0,005477  | 26,855860    | 2,657392                   | 0,000336                               | 0,986564                  | 0,05               | -0,000846 | 0,000846 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 432/68    | 189         | 0,012813  | 9,706196     | 1,683653                   | 0,001036                               | 0,821745                  | 0,1                | -0,001705 | 0,001705 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 432/800   | 189         | 0,008086  | 1,865057     | 1,845042                   | 0,000192                               | 0,990905                  | 0,1                | -0,000316 | 0,000316 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 432/855   | 189         | -0,031646 | 22,497569    | 1,703904                   | 0,000439                               | 0,944356                  | 0,1                | -0,000722 | 0,000722 | Ha       | Sim     | Diminuição    |
| 433/297   | 173         | 0,004214  | 13,267989    | 1,007684                   | 0,000136                               | 0,988221                  | 0,1                | -0,000224 | 0,000224 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 434/280   | 189         | 0,004016  | 35,436194    | 1,706691                   | 0,000700                               | 0,858984                  | 0,05               | -0,001371 | 0,001371 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 434/306   | 172         | 0,001874  | 46,928961    | 0,330288                   | 0,000068                               | 0,973075                  | 0,01               | -0,000176 | 0,000176 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 442/241   | 190         | 0,003752  | 3,170947     | 0,515265                   | 0,000059                               | 0,988311                  | 0,1                | -0,000097 | 0,000097 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 442/36    | 190         | -0,033403 | 8,418536     | 1,917151                   | 0,000264                               | 0,983866                  | 0,1                | -0,000434 | 0,000434 | Ha       | Sim     | Diminuição    |
| 442/537   | 189         | -0,0216   | 33,902649    | 1,767748                   | 0,000571                               | 0,904277                  | 0,1                | -0,000939 | 0,000939 | Ha       | Sim     | Diminuição    |
| 442/94    | 190         | -0,00567  | 20,609991    | 1,823512                   | 1,767748                               | 0,947351                  | 0,05               | -0,000523 | 0,000523 | Ha       | Sim     | Diminuição    |
| 443/924   | 190         | 0,002966  | 52,864275    | 1,985052                   | 0,000224                               | 0,989183                  | 0,01               | -0,000576 | 0,000576 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 444/317   | 177         | 0,006046  | 25,870751    | 1,351066                   | 0,000491                               | 0,976037                  | 0,05               | -0,000494 | 0,000494 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 444/318   | 71          | -0,000901 | 22,963596    | 0,475456                   | 0,000491                               | 0,953040                  | 0,01               | -0,001264 | 0,001264 | H0       | Não     |               |
| 444/355   | 189         | -0,002178 | 15,783496    | 1,169720                   | 0,000328                               | 0,933810                  | 0,05               | -0,000644 | 0,000644 | Ha       | Sim     | Diminuição    |
| 444/85    | 159         | 0,004559  | 7,636840     | 2,327451                   | 0,000631                               | 0,963336                  | 0,1                | -0,001037 | 0,001037 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 445/7     | 226         | 0,007741  | 51,204646    | 1,557738                   | 0,000204                               | 0,975342                  | 0,05               | -0,000336 | 0,000336 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 453/18    | 190         | -0,004004 | 59,245474    | 0,991083                   | 0,000245                               | 0,947998                  | 0,01               | -0,000630 | 0,000630 | Ha       | Sim     | Diminuição    |
| 453/395   | 179         | -0,012392 | 30,035356    | 2,432329                   | 0,001058                               | 0,865201                  | 0,1                | -0,001740 | 0,001740 | Ha       | Sim     | Diminuição    |
| 454/146   | 188         | 0,000212  | 8,562574     | 0,938252                   | 0,000217                               | 0,955813                  | 0,05               | -0,000425 | 0,000425 | H0       | Não     |               |
| 454/151   | 132         | -0,016534 | 9,782522     | 1,461620                   | 0,001046                               | 0,853812                  | 0,1                | -0,001721 | 0,001721 | Ha       | Sim     | Diminuição    |
| 466/21    | 189         | -0,016745 | 18,270723    | 1,899800                   | 0,000245                               | 0,974421                  | 0,1                | -0,000402 | 0,000402 | Ha       | Sim     | Diminuição    |
| 476/19    | 85          | -0,022989 | 18,076132    | 1,292173                   | 0,000629                               | 0,982020                  | 0,1                | -0,001035 | 0,001035 | Ha       | Sim     | Diminuição    |
| 476/20    | 132         | 0,140702  | 34,345439    | 7,189606                   | 0,001949                               | 0,979033                  | 0,1                | -0,003206 | 0,003206 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 476/21    | 132         | 0,01589   | 8,786087     | 1,351693                   | 0,000330                               | 0,982995                  | 0,1                | -0,000543 | 0,000543 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 484/8     | 132         | 0,015583  | -1,311717    | 0,974514                   | 0,000345                               | 0,964235                  | 0,1                | -0,000568 | 0,000568 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 489/37    | 136         | 0,007167  | 20,198088    | 0,602794                   | 0,000268                               | 0,938116                  | 0,05               | -0,000526 | 0,000526 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 516/80    | 172         | 0,009109  | 25,222035    | 0,975777                   | 0,000274                               | 0,949980                  | 0,05               | -0,000538 | 0,000538 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 518/30    | 136         | 0,037061  | 15,802823    | 2,469045                   | 0,000649                               | 0,978441                  | 0,1                | -0,001067 | 0,001067 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 519/300   | 60          | 0,002683  | 8,467363     | 0,485604                   | 0,000944                               | 0,899623                  | 0,05               | -0,001851 | 0,001851 | Ha       | Sim     | Aumento       |
| 528/16    | 136         | 0,031242  | 8,954834     | 1,838041                   | 0,001029                               | 0,902131                  | 0,1                | -0,001693 | 0,001693 | Ha       | Sim     | Aumento       |

Constata-se que o furo 453/395, anteriormente mencionado, não apresenta tendência negativa. De acordo com o mesmo autor, se a linha de tendência não for paralela à reta 1:1 e se o centroide da mesma se encontrar sob a reta 1:1, o desvio padrão é que define a evolução da tendência. De acordo com a Tabela 4.5, verifica-se que o desvio padrão do *slope* é positivo. No entanto, como o valor se encontra dentro do intervalo de confiança de 90%, admite-se que não existe tendência.

Partindo da análise do mesmo autor e observando a distribuição dos pontos no gráfico, que constam no anexo A.3, foi possível retirar algumas conclusões relativamente à distribuição das séries parciais bem como da posição do centroide:

- Os furos 476/20, 476/21, 484/8 e 528/16, "alta"- "baixa" indicando que os dados da subsérie em X são superiores em relação à Y
- O furo 432/855 apresenta uma tendência negativa, mas "baixa "- "alta", que indica que os dados da subsérie em X são superiores em relação à Y;
- A maioria dos furos apresenta tendências "média-média";
- Os furos 433/297, 444/317, 445/7, 466/21, 486/37, 516/80 e 519/300 apresentam linha de tendência não paralela à linha 1:1, implicando uma variação da tendência que pode ser justificada pelo aumento e diminuição da profundidade.

Para compreender como ocorre a dispersão dos valores do *slope* pela área de estudo, realizou-se a Krigagem normal dos resultados obtidos na Tabela 4.2, o que permitiu obter a Figura 4.16.

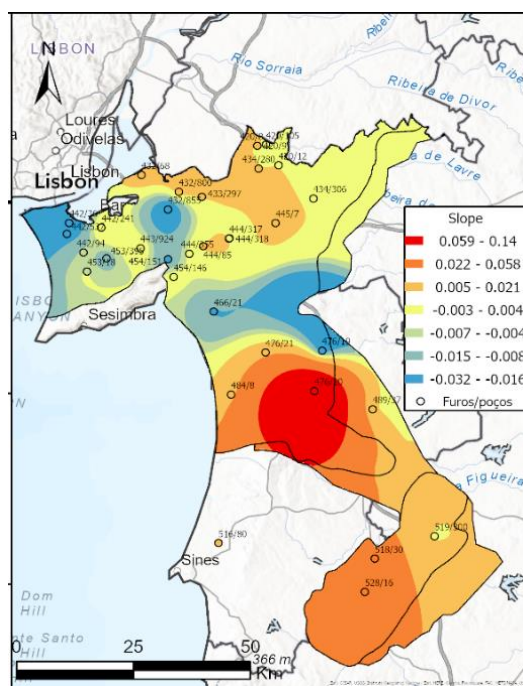


Figura 4.16 - Distribuição espacial dos valores do *slope* da área de estudo

Observando a Figura 4.16 é possível concluir que a maioria dos furos com tendências positivas localiza-se no interior do sector Sul e a norte da área de estudo, enquanto os sectores mais litorais e junto às zonas estuarinas apresentam tendências negativas, aferindo a diminuição da profundidade do nível de água. Este fenómeno é explicado, possivelmente, pela subida dos níveis eustáticos. Os valores mais altos de tendência de aumento da profundidade, pela sua localização, poderão estar relacionados com efeitos de recarga insuficiente, causados pela ação antrópica, que é refletida pela intensificação da atividade no sector NE e SE da área de estudo. Contudo, no sector SE existe menos atividade agrícola, sugerindo desse modo, outros fatores naturais como a precipitação ou as condições geológicas no local. Na zona do estuário do Tejo verifica-se uma pequena seção com valores médios, que evidenciam uma tendência do aumento da profundidade, que podem estar relacionados com industrialização e com o crescimento populacional.

Para a validação dos resultados obtidos com a análise *Innovative trend*, realizou-se a análise *Mann-Kendall*, estabelecendo-se como referência o intervalo de confiança de 95%, que permitiu a obtenção de gráficos que constam no anexo A.3. A análise destes gráficos passa pela interpretação dos dados através da projeção dos valores segundo a linha *prograde*, que corresponde aos valores de  $Z(S)$ , obtidos pela equação  $x$ , sobre a linha *retrograde*, que é obtido através da estatística inversa dos valores de  $Z(S)$  (denominado por  $Z^*(S)$ ). Quando ocorre a interseção entre estas duas linhas evidencia-se uma mudança na evolução ou da tendência dos dados, permitindo, assim, aferir as ocorrências na mudança de tendências, como se observa na Figura 4.17.

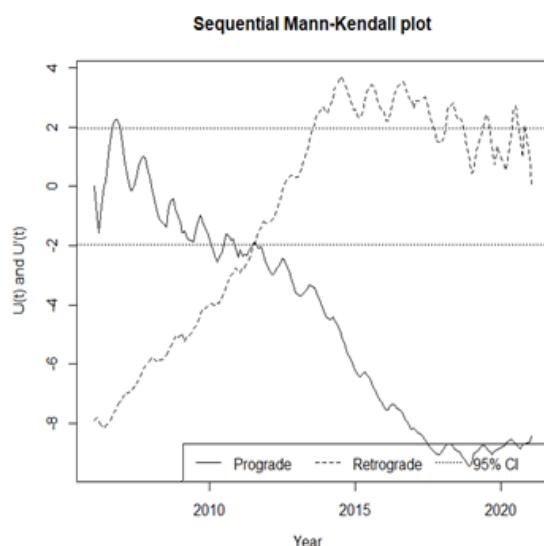


Figura 4.17 - Representação gráfica da análise *Mann-Kendall*

Nas situações em que estas mudanças sejam muito consecutivas, isto é, em que as duas linhas se encontrem muito sobrepostas, é possível admitir que não existe uma tendência determinista em relação a essa série de dados. Analisando os gráficos relativos a cada furo, mencionados na Tabela 4.5, é possível admitir que:

- Na maioria dos furos ocorreram variações da evolução a partir de 2015, e por vezes também, de 2010 em diante, iniciando-se uma evolução maioritariamente positiva, indiciando o aumento dos valores de profundidade do nível de água.
- Os furos 420/8, 420/9, 432/68, 442/36, 443/924, 444/318, 444/355, 453/18 e 476/19, que apresentavam variações anteriores a 2010, mantiveram-se constantes.
- Na maioria dos furos ocorre, no mínimo, uma variação, contudo, os furos 434/280, 434/306, 443/924, apresentaram variações contínuas no tempo.

Os furos que apresentaram variações da evolução da tendência dos resultados apresentam indícios que são zonas afetadas pela atividade antrópica, uma vez que estes se localizam nas proximidades de zonas com elevada atividade agrícola e pecuária, como é o caso dos furos 432/306 e 434/280, ou no caso do furo 443/924, pela ocupação urbana.

Comparando os resultados obtidos com os gráficos do *Innovative trend*, constatou-se que as mudanças detetadas são representadas nos gráficos *Innovative trend* pelas inflexões da distribuição dos dados nas duas subséries.

### 4.3 Análise química

A análise e o tratamento dos dados da componente química das águas neste estudo têm como objetivo principal determinar as fácies químicas da água, e posteriormente, o tipo de fácies hidroquímicas, de modo a avaliar e compreender a distribuição espacial das mesmas na área de estudo.

Para este subcapítulo analisaram-se os furos que contêm informação sobre os iões  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  (catiões),  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  (aniões) ao longo de 10 anos, representados no anexo A.4, que consiste na média de 10 anos referentes aos dados de 2000 até 2010.

Antes de se iniciar inicializar qualquer procedimento analítico, realizou-se a conversão das unidades de concentração de mg/l para mel/l dos elementos. Concluída essa fase, deu-se início à análise dos parâmetros químicos das águas.

Na primeira etapa enquadrou-se o tipo de águas na área de estudo com recurso ao diagrama de Piper. O diagrama de Piper permite a projeção dos furos amostrados em dois triângulos, em que um deles representa os catiões principais ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ) e o outro representa os aniões ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$ ). A interseção entre os furos projetados nos dois triângulos mencionados é feita num terceiro triângulo, definindo desta forma as características químicas das águas, permitindo agrupar e classificar as águas quanto ao seu tipo.

Aplicando esta técnica obteve-se o diagrama representado na Figura 4.18, onde se encontram distribuídos os vários furos. Numa primeira análise, observa-se que os furos se encontram distribuídos em 2 áreas, que estão assinaladas na figura, permitindo aferir na área de estudo a ocorrência de duas grandes fácies químicas, sendo estas bicarbonatadas-cálcica e cloradas-sódicas, seguidas de uma fácies de menor proporção (*mixed waters*).

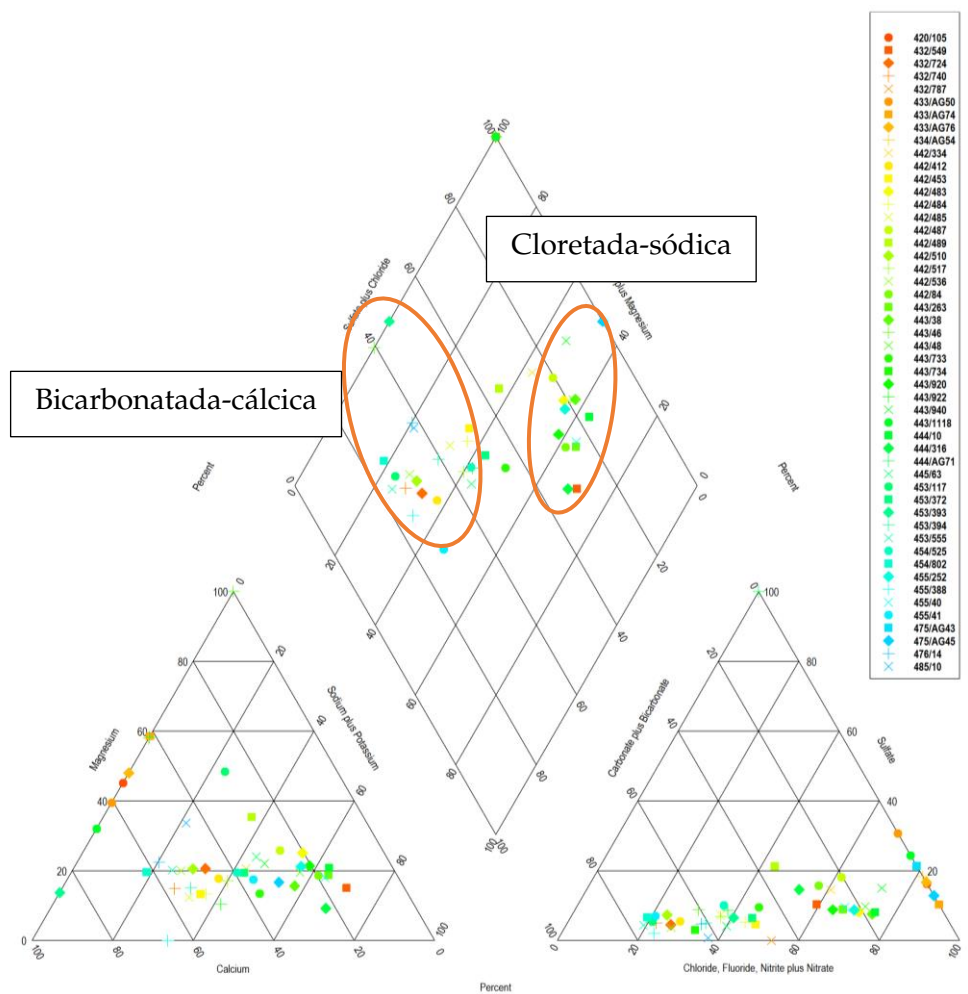


Figura 4.18 - Diagrama de Piper

Os furos representativos das fácies bicarbonatadas apresentam teores elevados de  $\text{Ca}^{2+}$ , característicos de águas magnesianas e carbonatadas, sugerindo que a água circula num meio rochoso rico em carbonatos (formações sedimentares). Contudo, alguns furos apresentam teores significativos de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , sugerindo influência marinha, como se pode observar nos furos 445/63, 455/41, 442/485, 453/555. Relativamente às águas cloretadas, estas apresentam teores elevados de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , e têm tendência a ser sódicas, o que sugere influência da cunha salina e consequente da intrusão das águas do mar no interior da bacia. Por vezes, tendem a ser cálcicas, como no caso do furo 443/1118 (por presumíveis efeitos de mistura; águas originalmente bicarbonatadas cálcicas que passam a cloretadas cálcicas). Por último, ocorrem águas com teores de  $\text{HCO}_3^-$  elevado, mas em que a concentração de  $\text{Cl}^-$  é próxima dos 50% e com concentrações de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  semelhantes, indiciando uma fácies com influência não muito significativa de águas marinhas.

Contudo, para compreender melhor o tipo de fácies sob o ponto de vista hidroquímico, realizou-se a análise dos diagramas de Stiff. O diagrama de Stiff consiste numa representação poligonal de proporções entre os iões e os catiões principais. Estes diagramas poligonais são úteis para se realizar uma análise espacial das diferentes tipologias de fácies hidroquímicas.

Numa primeira análise dos diagramas obtidos, e tendo em consideração o tipo de águas presentes na área e as características do meio geológico, foi possível distinguir 4 fácies hidroquímicas:

- Fácies com influência marinha;
- Fácies continentais;
- Fácies de transição entre o ambiente continental e o marinho;
- Fácies continental sob provável influência marinha.

Dadas as características, agruparam-se os furos com a mesma fácies no diagrama de Stiff, que se encontram representados nas Figuras 4.19 (a, b, c, d).

Na figura 4.19a, encontram-se caracterizados os furos de fácies continentais e que apresentam altos teores de  $\text{HCO}_3^-$  e de  $\text{Ca}^{2+}$ . Esta disposição dos valores é condicionada pela litologia do meio, onde ocorre a circulação da água no meio rochoso.

Na figura 4.19b, encontram-se caracterizados os furos de fácies continentais com influência marinha, em que se verificam grandes concentrações de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , exceto no furo 442/489, em que o teor em  $\text{Cl}^-$  é superior na proximidade do estuário.

Na Figura 4.19c encontram-se caracterizados os furos de fácies de transição em que se verifica teores de  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  com a mesma expressão, acompanhados de teores elevados de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ . Contudo, o furo 433/AG76 apresenta teores de  $\text{Cl}^-$  elevados. Apesar de não existirem de teores  $\text{HCO}_3^-$ , os restantes dados permitem corroborar a hipótese de que se trata de um ambiente de transição.

Na Figura 4.19d, encontram-se caracterizados por um ambiente marinho, verifica-se uma tendência generalizada em que todos os furos apresentam altos teores de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , com exceção do furo 475/AG43, que não apresenta informação relativa a esses teores.



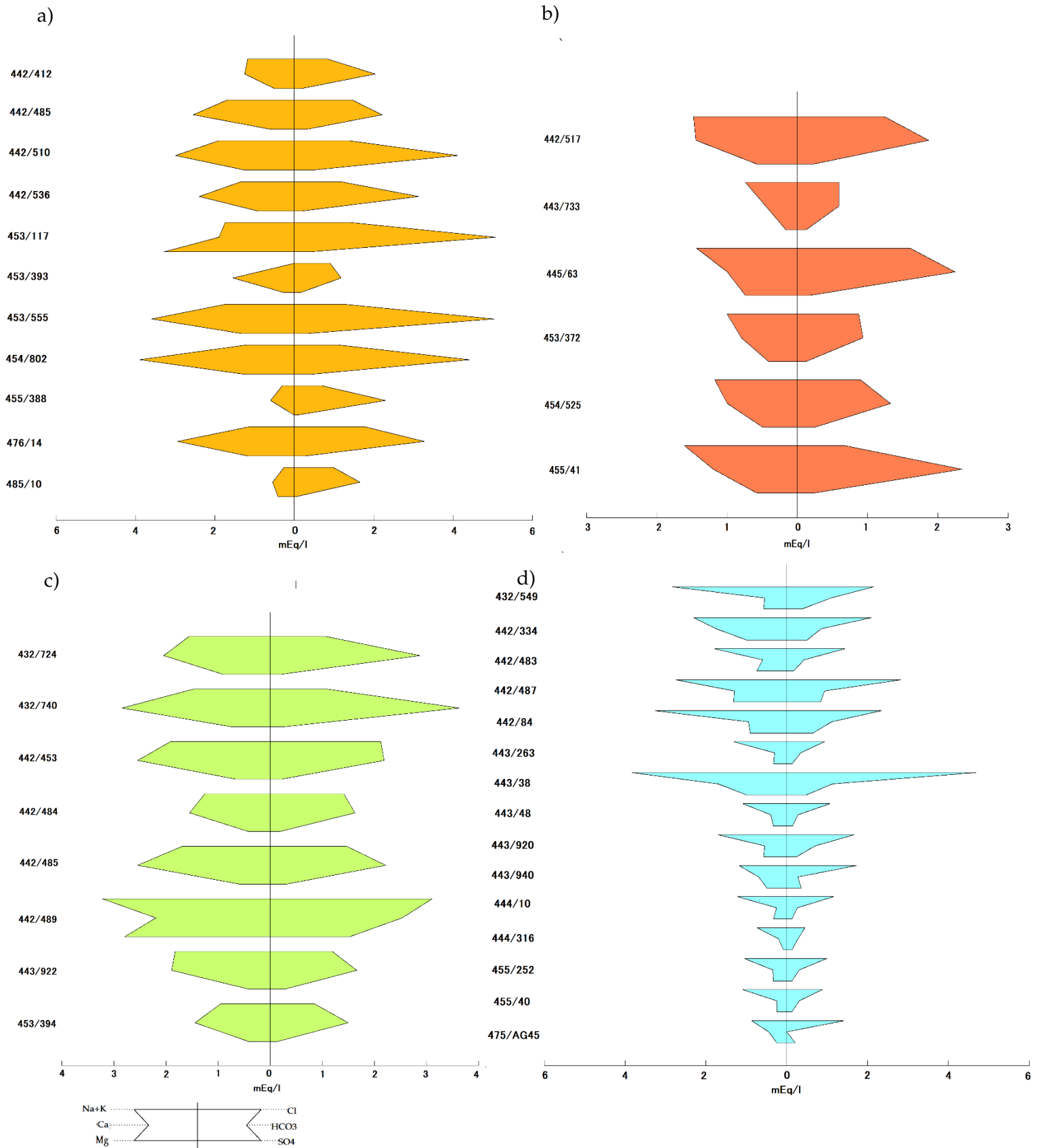


Figura 4.19 - Diagramas Stiff representativo de cada fácies hidroquímica: a) fácies continentais; b) fácies continentais sob influência marinha; c) fácies de transição; d) fácies de influência marinha;

Para averiguar a distribuição das fácies na área de estudo dos furos analisados, recorreu-se à georreferenciação dos mesmos através do ArcGIS Pro, de acordo com as fácies hidroquímicas, que se encontram representados na Figura 4.20.

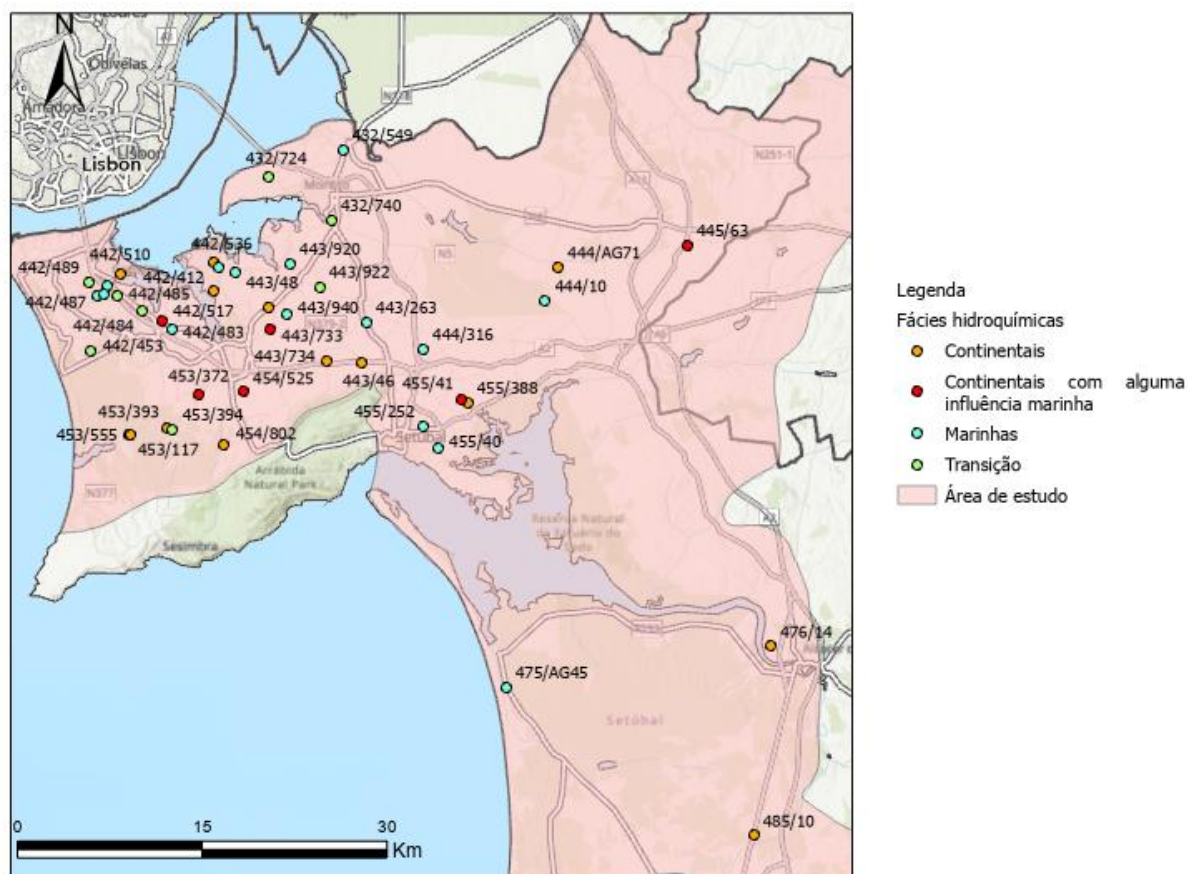


Figura 4.20 - Distribuição das fácies hidroquímicas na área de estudo

Analisando a Figura 4.20, é possível retirar duas informações pertinentes. Em primeiro lugar, os furos que apresentam fácies hidroquímicas marinhas e de transição, localizam-se nos sectores mais distais da bacia, sendo que no sector Norte se verifica uma grande influência das fácies hidroquímica de ambiente transição entre a zona distal e o centro da bacia, igualmente nesta zona verifica-se uma diminuição da profundidade segundo a Figura 4.16 e como se pode observar no anexo A.5. Os furos que apresentam fácies hidroquímicas continentais encontram-se no interior na bacia.

Apesar de se verificar esta hipótese, existem algumas exceções que não permitem fundamentar este pressuposto, sobretudo os furos no sector junto às zonas estuarinas do Rio Tejo e Sado, nos quais se destacam os furos, 442/510, 442/412, 442/536, 443/1118, 455/388, 455/41, e os furos no interior da bacia 444/10, 444/316 e 443/263. Isto sugere a existência de fatores alheios à localização dos furos que condicionam o comportamento dos dados, que podem estar inerentes às características dos próprios furos (profundidade do furo e a disposição dos ralos

ao longo do furo) das características do meio geológico e das condições do controle estrutural da bacia (interseção com zonas de falhas) ou resultante da atividade antrópica.

A ocorrência dos furos junto aos estuários que apresentam fácies hidroquímicas continentais, é justificada pelas características dos furos e pelas respostas dos mesmos face às unidades geológicas que interceitam. Estes furos são mais profundos que a maioria, atingindo unidades geológicas que apresentam uma matriz carbonatada a argilosa, são ricas em  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

No caso dos furos com registro de fácies marinhas no interior da bacia não se aplica o pressuposto anterior. Com base na Figura 4.20 percebe-se que, num intervalo de 10 anos, ocorre uma progressão da cunha salina para o interior da bacia, com base na transição dos furos de fácies continentais para as de fácies de transição. Contudo, os furos 444/10, 444/316 e 443/263 não demonstram essa tendência. Esses furos são profundos e a disposição dos ralos começa a cerca de 60 a 80 m de profundidade. Do ponto de vista geológico, podem ter origem em quatro situações: litologia do meio, ocorrência de zonas de falhas, ocorrência de águas fósseis e consequente da ação antrópica.

A litologia da área nos sectores dos furos em causa, é formada por uma alternância de areias e argilas, resultantes do eustatismo, bem como do controle estrutural da bacia, que terá permitido à criação e formação de armadilhas que preservam as águas durante a deposição, preservando as condições ambientais. Segundo Pais et al., (2006) e Pais et al., (2012), os ambientes deposicionais foram controlados por sistemas deltaicos, caracterizados pelas influências das águas do mar e do rio, contudo não existem estudos que corroborem esta hipótese. Deste modo, esses furos podem ser influenciados pela ocorrência de zonas de falha ou pela ação antrópica.

Com base no conteúdo apresentado no Capítulo 2, no subcapítulo 2.3, sabe-se que a área de estudo é afetada por zonas de falhas à escala regional, representadas na Figura 2.3 e no anexo A.5, que funcionam como veios de circulação de água da chuva. Dois dos furos em causa (444/316 e 443/263), encontram-se alinhados com essas estruturas, sugerindo que a cunha salina possa ter progredido para o interior da bacia face a estas condições. Porém, não permite justificar o que ocorre no furo 444/10, desse modo as possíveis causas recaem sobre o efeito da ação antrópica.

Relativamente ao efeito da ação antrópica, analisando a carta da ocupação e uso do solo, esses mesmos furos localizam-se em torno de grandes áreas de produção agrícola e de pastagem com se conta em anexo A.5. A agricultura é uma das atividades humanas que mais contribui para o enriquecimento das águas com  $\text{Cl}^-$ , por consequência do uso inadequado de adubos que, maioritariamente, que constituem o “potash”, que se refere a uma mistura de cloreto de potássio (Granato et al., 2015), que foi bastante comercializada entre os dez anos em estudo. A criação de gado é outra fonte de  $\text{Cl}^-$ , proveniente dos resíduos animais resultantes dos processos digestivos e, más práticas no controle e segurança destes resíduos podem permitir a infiltração destes contaminantes para o solo e progredir para os níveis freáticos, contaminando a água no subsolo, justificando os valores encontrados.



## CONSTRUÇÃO DO MODELO DE ESCOAMENTOS

Numa primeira análise é possível constatar que na maior parte da área de estudo se verifica uma tendência crescente para o aumento da profundidade do nível de água, exceto no sector junto ao estuário do Tejo, onde se verifica uma diminuição, que é fundamentada pela componente química, analisada anteriormente. No entanto, o sector Sul do sistema aquífero da Margem Esquerda apresenta situações divergentes do que seria expeável, sobretudo na área a S do Rio Sado, onde o furo 476/20 regista um rebaixamento significativo de cerca de 22 m e o furo 444/316, com a presença da influência marinha no interior da bacia.

De modo a determinar e compreender os fatores que poderão estar na origem das situações anteriormente descritas, foi necessário avaliar o comportamento do fluxo subterrâneo em três momentos ou situações. Analisou-se para os anos 2011, 2015, 2020. Não foi avaliado o ano 2010 devido à falta de informação relativamente ao furo 476/20, que constituiu um dos alvos principais desta análise. Assim, nesta fase, procedeu-se à construção e análise do modelo de escoamentos desse sector. A área estudada encontra-se representada na figura 5.1.

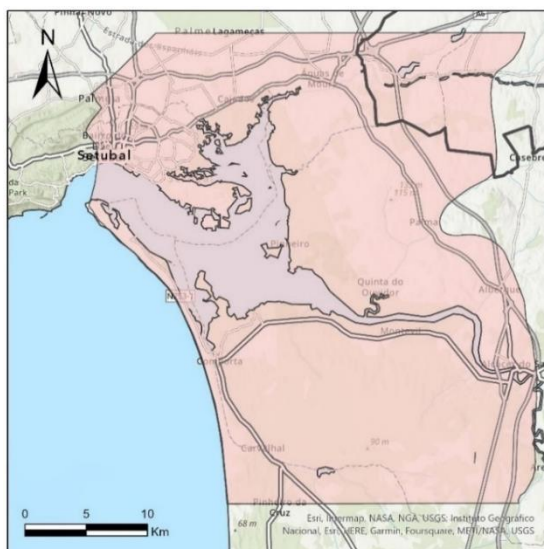


Figura 5.1 - Definição da área de estudo na construção do modelo de escoamentos

Para a construção do modelo de escoamentos foram recolhidas informações geológicas, hidrogeológicas, meteorológicas e indícios da atividade humana, a referir: sondagens geológicas (LNEG), furos piezométricos (SNIRH); MDT 30x30m (LNEG); Carta de Ocupação e Uso

dos Solo 1:25000; Cartas Geológicas 39A (Águas de Moura) e 39C (Alcácer do Sal) para escala 1:50000; dados e perfis geofísicos (gravimetria, reflexão sísmica, magnetismo e resistividade elétrica); análises químicas; artigos científicos e estudos na região.

A construção foi repartida em duas etapas, e na qual a primeira se definiu o modelo conceptual, e na segunda se executou o modelo no programa PMWIN, tendo por base os parâmetros físicos das unidades hidrogeológicas determinadas na primeira etapa, bem como a informação sobre a componente ambiental.

## 5.1 Modelo de conceptual de escoamentos

### 5.1.1 Caracterização das unidades hidrogeológicas

Uma das etapas mais importantes na construção do modelo de escoamentos consiste na idealização do modelo conceptual do mesmo. O modelo conceptual de escoamentos subterrâneos compreende duas partes: as unidades hidrogeológicas e o sentido do fluxo do escoamento, condicionado por essas unidades.

A geologia da região, referenciada no Capítulo 3, apresenta alguma complexidade devido à presença do soco do Paleozoico, maioritariamente formado por litologias xistentas, de características impermeáveis, mas localmente representada por rochas vulcânicas com fracturação variada (Oliveira et al., 1998; Oliveira et al., 2001; Matos et al., 2018; Matos, 2021), que condicionou a deposição e a individualização das unidades do Cenozoico, que a sobrepõem a esses relevos. Do ponto de vista da litoestratigrafia e com base na informação obtida nas Cartas geológicas 39-A (Águas de Moura) e 39-C (Alcácer do Sal), e em outros documentos científicos e académicos, foi possível assinalar as formações com potencial hidrogeológico, que constam na Tabela 5.1.

A área em estudo é afetada por vários sistemas de falhas de escala regional, o que torna possível a ocorrência de percolação de águas para as unidades inferiores, como a Formação do Vale do Guizo (com proveniência da Zona de Ossa-Morena e da Zona Sul Portuguesa, Oliveira et al., 1998; Matos, 2021). Esta é formada por conglomerados, com calhaus não muito rolados, de rochas do soco, areias mais ou menos grosseiras, mal calibradas, às vezes arcósicas e com argilas vermelhas, brancas ou esverdeadas (Zbyszewski, et al., 1976; Antunes, 1993). Existem alguns estudos que mencionam esta possibilidade dos quais se destaca o de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) a Herdade da Comporta, para a construção do campo de golfe em 2008 (Outras Paisagens l.a, 2009), que afirmou a ocorrência em profundidade de aquíferos confinados e no estudo de sulfuretos maciços na Lagoa Salgada, (sector NE de Grândola), que em várias sondagens de prospeção identificaram níveis de aquíferos confinados, em particular no topo de conglomerados atribuídos à Formação de Vale de Guizo, a cerca de 78 m de profundidade (Matos, 2021).

Tabela 5.1 - Características das formações geológicas com potencial hidrogeológico na região

|   | Sector Norte   | Sector Sul | Litologia   | Espessura (m)   | Transmissividade ( $m^2/d$ ) |
|---|--|------------|---|---|------------------------------|
| F<br>o<br>r<br>m<br>a<br>ç<br>õ<br>e<br>s | Depósitos do Quaternário                                   |            | Aluviões, terraços aluviais e dunas   | Aluviões: 10;<br>Terraços: 15 a 25; dunas:<br>10 a 50                   | 3 a 4100                     |
|   | Formação de Vermelhas de Gamita e Vale de Grou             |            | Areias e arenitos argilosos com seixos avermelhados no topo e na base argilas e arenitos argilosos vermelhos ou   | 30  | 19 a 3000                    |
|   | Cálcario arenito-agiloso de Aljezur e de Monte do Pinheiro |            | Areias, arenitos e argilas cinzentas ou esverdeadas   | 100 no setor de W; 30 no setor E  |                              |
|   | Formação de Marateca                                       |            | Conglomerados a areias grosseiras, areias médias e finas geralmente argilosas, geralmente argilas                 | 60 a 100 no sector N  | 3 a 1500                     |
|   | Formação de Alcácer do Sal                                 |            | Areias brancas ou amareladas de grão médio a fino, e calcarenitos fossilíferos, mais ou menos arenosos com níveis | 150 a 200 no sector N (por vezes mais de 300);<br>140 a 150 no sector S | 29 a 4100                    |

Fonte: (Zbyszewski et al., 1979; Antunes, 1983; Almeida et al., 2000; Oliveira, 2009; Novo et al., 2020)

De forma a definir as unidades de interesse, analisaram-se os tarolos recolhidos do furo de sondagem vertical SD.MS1 de Monte Sobral, realizado pelo LNEG, em 1992, e arquivados na Litoteca do LNEG em Aljustrel. O furo de sondagem encontra-se representado no anexo B.1 e com a respetiva ficha de sondagem produzida no anexo B.2, que complementa a informação original e nos dados recolhidos neste trabalho na Litoteca de Aljustrel. Do troço dos 66,3m a 310,5 m, marcada pelo topo da Formação do vale do Guizo e o fim do furo de sondagem, foi possível evidenciar os intervalos correlacionáveis com a presença de água em profundidade:

- Entre 70,49 m - 71,95 m verifica-se alterabilidade do tarolo, relativamente ao cimento carbonato a argiloso e a desagregação do sedimento da matriz, indiciando a circulação de água entres estes níveis e processos de calcificação (Figura 5.2a);
- Entre 71,95 m - 85,05 m não houve recolha do tarolo, indicando uma unidade com presença de água que, terá percolado com um caudal significativo;
- Entre 85,05 - 88,96 m verificou-se a ocorrência de fracturação, no qual se observa a alteração das superfícies de descontinuidade (Figura 5.2b);
- Entre os 88,96 - 96,06 m existem indícios de alteração pouco significativa do sedimento (Figura 5.2c);
- Entre 96,09 - 98,85 m observa-se a transição entre o Cenozoico e Paleozoico, que é delimitado superiormente pelo paleossolo, (significativamente alterado), em que no na interface do mesmo evidencia-se circulação de água (Figura 5.2d);
- Entre os 98,85 m - 124,76 m alteração meteórica das rochas xistentas, em período paleogénico, anterior à deposição dos conglomerados (Figura 5.2e);
- Dos 124,76 m - 310,5 m observou-se xistos cinzentos com fracturação e evidência de estruturas S1 e ocorrência de precipitação de sulfuretos (calcopirite) na superfície de descontinuidades como planos de clivagem (Figura 5.2f).



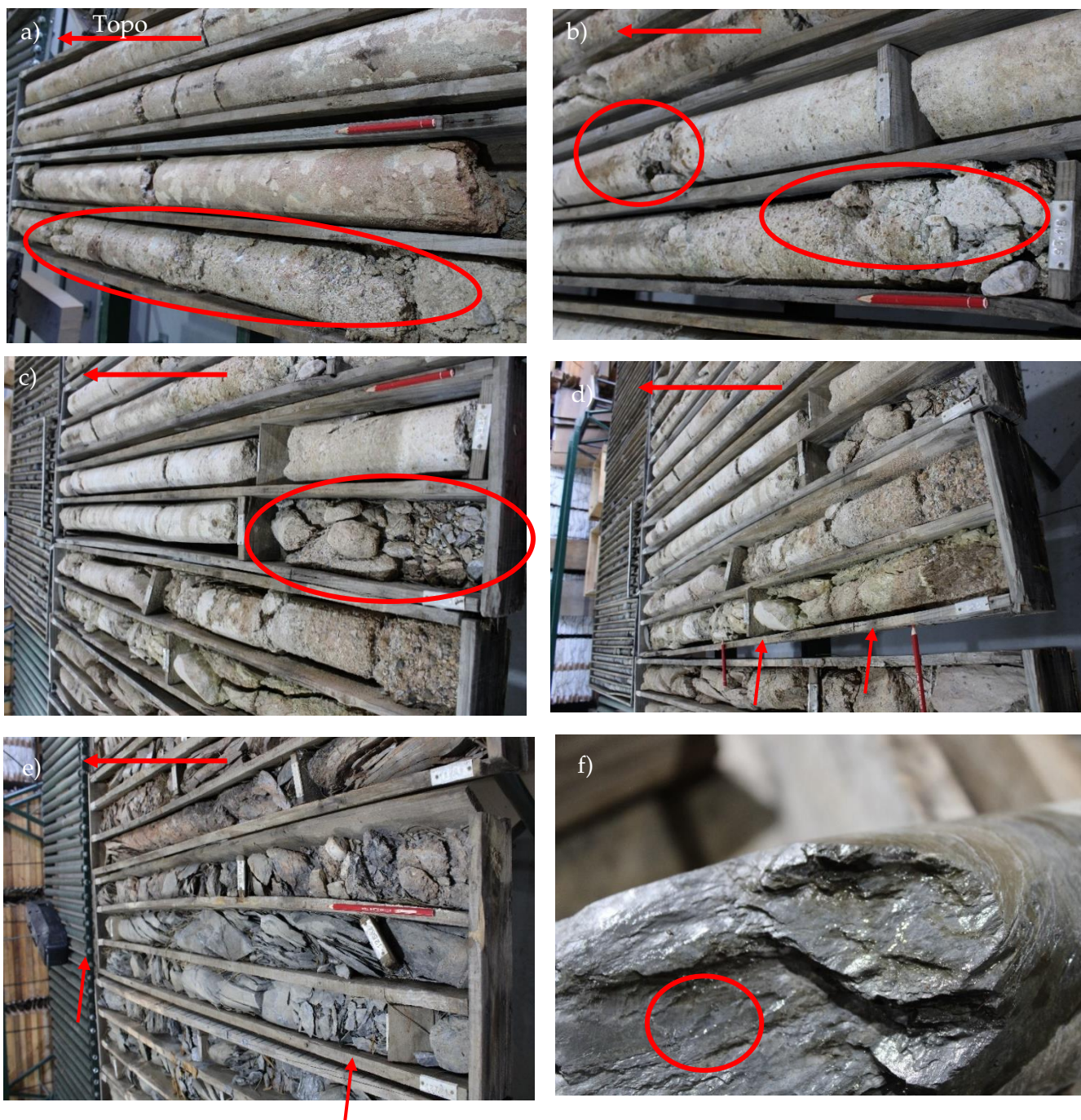


Figura 5.2 - Sondagem SD.MS1 Monte Sobral no troço (63.3-310,5m), Litoteca de Aljustrel, LNEG: a) 63,3 m - 71,95 m - indícios de alterabilidade aos 70.49 m correspondente a processos de calcificação; b) 85,05 m - 88,96 m - fracturação subvertical provavelmente devido a descompressão; c) 88,96 - 96,06 m - esmagamento e alteração da rocha, salientando-se a ausência de matriz, devido a provável percolação de água; d) 96,06 m - 98,85 m - paleossolo com evidências de paleo-alteração meteórica, marcando a interface Cenozoico/Paleozoico, a qual corresponde a uma inconformidade ou discordância angular; e) 98,85 m - 124,76 m - xisto alterado, com planos de clivagem S1 subverticais



Com a análise do furo SD.MS1, foi possível assumir que a Formação de Vale do Guizo e o soco se apresentam como unidades potenciais para a circulação de água. Contudo, dada a sua disposição na bacia e a falta de dados numéricos ou metadados referentes aos valores de carga hidráulica nos aquíferos e aquitardos dessas mesmas unidades, não foi possível incluí-los no modelo de escoamento. No entanto, a informação do furo permite inferir a ocorrência de drenância vertical das unidades superiores para a Formação de Vale do Guizo e para o soco, ao longo de planos de falha alpinos. Assim, o modelo de escoamentos para este estudo teve em conta as unidades apresentadas na Tabela 5.1. Uma vez que a geologia da área de estudo é complexa e dada à falta de informação referente da diferenciação das unidades que pertencem ao aquífero livre, e do semi-confinado, na área em estudo, assumiram-se as camadas do modelo de escoamentos como se fossem as da geologia á escala 1:50000. Deste modo, a camada 1 é constituída pelas unidades Plio-plistocénico e do Quarternário, a camada 2 será definida pela Formação da Marateca e a terceira camada formada pela Formação de Alcácer do Sal.

Essas unidades, segundo a bibliografia consultada, são controladas estruturalmente por zonas de falhas mencionadas no Capítulo 2, referentes à Figura 2.3, que exibem a distribuição das mesmas na área de estudo. As falhas funcionam como veios comunicantes na circulação de água entre diferentes unidades e profundidades, sendo que neste contexto geológico as zonas de *graben* surgem como as preferencialmente recetoras de água, enquanto, nas estruturas do tipo *horst* verificar-se-á um escape lateral água. O rio Sado surge como um grande comunicador de água, ao atravessar várias zonas de falha. Seguindo este modelo conceptual, considerou-se existir interesse em verificar o presumível efeito da presença de zonas no modelo numérico de escoamentos de modo a poder averiguar o papel que estas estruturas poderão desempenhar ao nível dos escoamentos subterrâneos no interior da bacia. Para tal recorreu-se à informação relativa à Figura 2.3 para a construção do modelo face à estruturação dos blocos, bem como as suas características face à percolação do fluxo nas mesmas. Assim, o modelo conceptual que contempla a perceção dos escoamentos na área de estudo em geral, apresenta-se na Figura 5.3 as interpretações do modelo constam em anexo B.5 referentes aos perfis dos perfis geológicos 2, 8, 10 e 12).

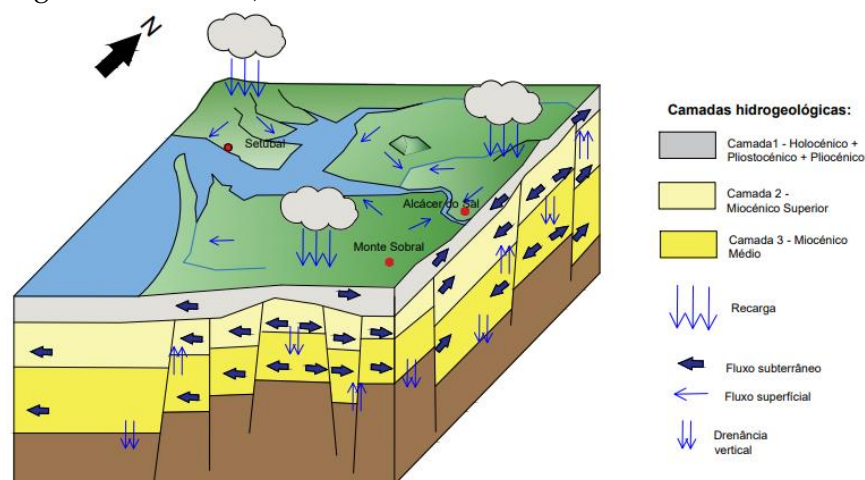


Figura 5.3 - Modelo conceptual do escoamento (não se encontra à escala)

## 5.1.2 Construção do modelo

### 5.1.2.1 Geometria da área de estudo

A implementação da malha para o modelo de escoamentos teve por base os dados físicos e a caracterização hidrogeológica do local. A malha apresentada na Figura 5.4 tem uma extensão de 37000x39000 m e encontra-se dividida em células de 500 x 500 metros (74 colunas por 78 linhas, segundo as direções N-S e E-W, respetivamente).

Para a construção do modelo definiram-se 3 camadas considerando-se todas como semi-confinadas no modelo, apesar da primeira englobar sistemas que localmente funcionam como aquíferos livres, como as areias dunares. No entanto, considerando a escala de trabalho e uma vez que se definiu que a primeira camada neste modelo é formada por um conjunto que engloba as unidades do pliocénico optou-se por uma abordagem mais conservativa, considerando-se a mesma como semi-confinada.



Figura 5.4 - Malha da área de estudo

### 5.1.2.2 Superfícies geológicas

Para a criação do modelo de escoamentos, uma das etapas fundamentais é a determinação dos topos e bases das camadas de interesse para o estudo. Numa primeira fase foi necessário definir e compreender a espessura e os contactos geológicos entre camadas. Deste modo, recorreu-se à criação de 13 perfis geológicos na área de estudo, localizando-os de modo a intersetarem o número máximo possível de furos e poços piezométricos e sondagens geológicas. Para complementar essa informação foram utilizados dados disponibilizados pelo LNEG, do tipo soft e hard (perfis geofísicos e sondagens), realizados na área de estudo que permitiram definir, com maior detalhe, a variação da profundidade das unidades do Cenozoico em contacto com o soco. Esses perfis encontram-se em anexo B.8 e a disposição dos mesmos no mapa no anexo B.7.

Para auxiliar a definição dos horizontes entre as camadas estudadas, e dada a ausência de furos na região, foram definidos pontos (X,Y,Z), sobre os perfis geológicos criados. Esses pontos foram obtidos com recurso ao ArcGIS Pro, que permitiu a produção dos mesmos sobre as linhas que representam os perfis. Os pontos encontram-se espaçados 5000 m entre si, exceto nas zonas de falhas, onde se definiram pontos afastados 1000 m entre si, de modo a representar o rejeito das falhas. Com esses pontos, determinou-se as cotas com base no MDT de Portugal, disponibilizado pela Ersi, à escala 30x30m e as respectivas coordenadas geográficas. Na localização de cada ponto no perfil estabeleceu-se a cota da base de cada camada.

Posteriormente, através do processo de Krigagem normal obtiveram-se as superfícies correspondentes à base de cada camada (horizontes entre camadas), que constam no anexo B.6. Com este procedimento, conseguiu-se aprimorar a condição de resposta do modelo, face aos parâmetros hidráulicos a serem considerados, como se verifica na Figura 5.5.

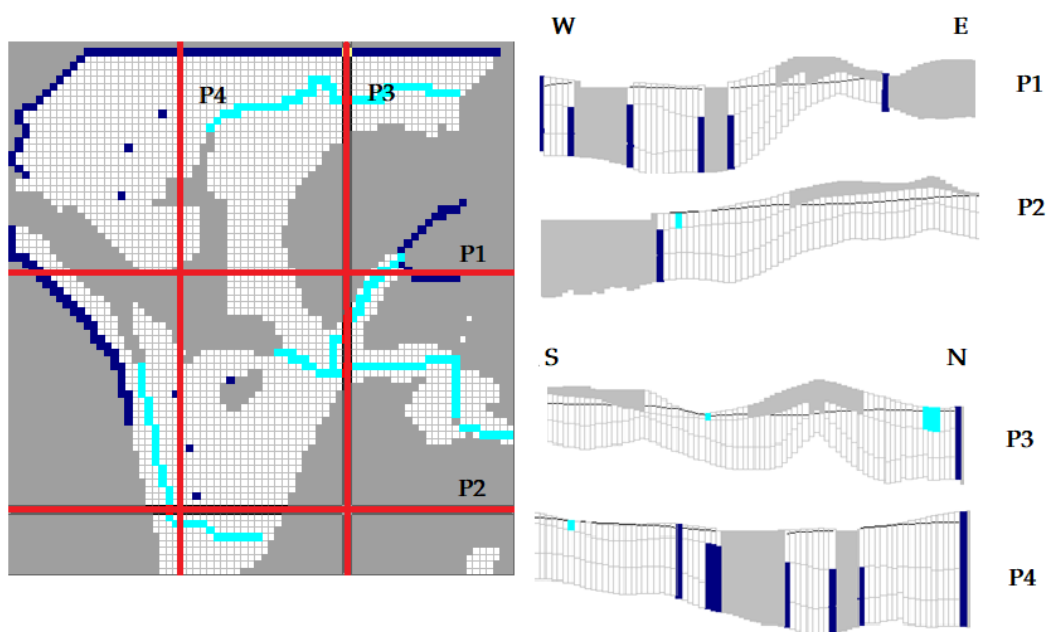


Figura 5.5 - Cortes transversais do modelo de escoamento nas direções S-N e W-E.

### 5.1.2.3 Valores e cálculo do tempo

No que diz respeito ao fator tempo, definiu-se a escala temporal em dias. Para a simulação do escoamento, considerou-se que o sistema é estacionário, apesar de existir, à partida, perda de água no sistema, influenciado por fatores antrópicos e ambientais na área em estudo, que não foram possíveis caracterizar.

#### 5.1.2.4 Recarga

A recarga do sistema refere-se, unicamente, à primeira camada do sistema aquífero. Para a definição da superfície de recarga, recorreu-se à estação meteorológica de Grândola (24F/01C), que consta na base de dados do SNIRH, uma vez que esta apresenta uma série, relativamente contínua, entre 2006 e 2021. Para tal, recorreu-se à precipitação acumulada referente aos anos hidrológicos (com início em outubro). Dado ao facto que a área é condicionada pela atividade antrópica e agroindustrial, a recarga do sistema reflete esse efeito. Foram definidos 5 patamares, avaliados de 1 a 5, que indiciam a suscetibilidade dessas áreas à recarga no sistema: 1 equivale a 20% do valor (zonas urbanas e industrializadas); 2 equivale a 40% do valor (zonas de exploração de recursos geológicos); 3 equivale a 60% do valor (zonas de atividade agrícola de culturas específicas, como vinhas); 4 equivale a 80% do valor (zonas florestais e agrícolas) e 5 equivale 100% do valor (zonas costeiras, sapais e massas de água), como demonstra a Figura 5.6. Para os anos em estudo avaliados e para a calibração do modelo foram obtidos os seguintes valores: calibração: 547,3 mm/mensal; modelo de 2011: 577,1 mm/ano; modelo de 2015: 241,4 mm/ano; modelo de 2020: 386,6 mm/ano.

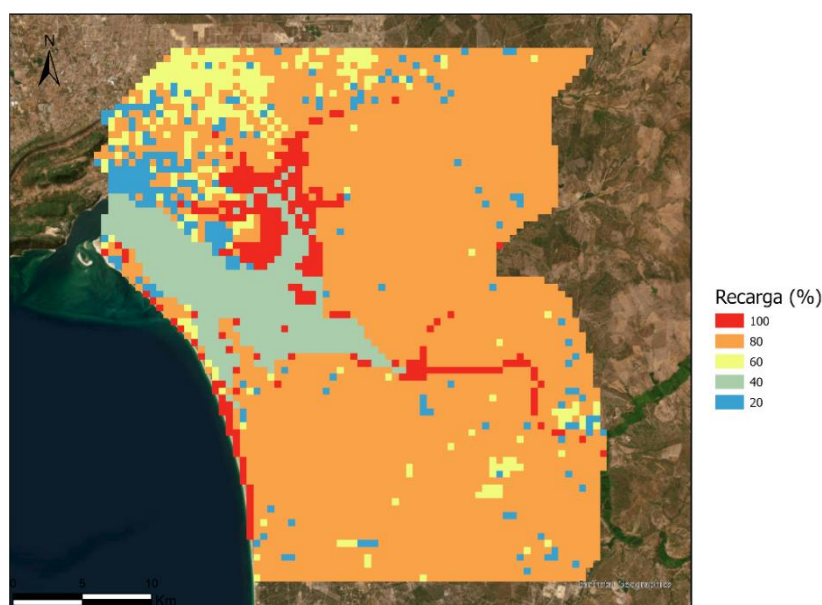


Figura 5.6 - Variação da recarga face às informações da Carta de Ocupação dos Solos

#### 5.1.3 Análise de sensibilidade e calibração do modelo

A abordagem utilizada para desenvolvimento deste modelo é assumidamente generalista carecendo de ajustamentos futuros uma vez que os valores das propriedades hidrogeológicas têm nesta região, indubitavelmente, uma muito elevada variabilidade espacial tridimensional. Este modelo é, portanto, experimental e foi desenvolvido, complementarmente às análises de tendências realizadas e apresentadas previamente, apenas com o intuito de se verificar

a nível regional se as evoluções detetadas pela análise estatística de alguma forma se refletem em termos dos fluxos e possíveis alterações na hidrodinâmica dos mesmos no interior da bacia. O desenvolvimento de um modelo suficientemente fidedigno que de alguma forma reflita a variabilidade destes parâmetros extravasaria, de todo, as possibilidades e limites temporais deste trabalho. Para a calibração do modelo utilizou-se o mês de agosto de 2006 para fazer o ajuste.

No processo de desenvolvimento e construção do modelo utilizaram-se diferentes abordagens, que consistiram em avaliar a sensibilidade e, conseqüentemente, calibrar o modelo, de modo a torná-lo mais próximo da realidade, face à falta de informação hidrogeológica da região. A análise de sensibilidade partiu da análise e determinação dos parâmetros que mais influenciam o escoamento e, com essa informação, ajustou-se o modelo até se obter os resultados pretendidos.

A análise de sensibilidade executou-se em duas etapas: a primeira consistiu em averiguar a resposta do modelo face à variação das propriedades hidrogeológicas do modelo, enquanto a segunda etapa consistiu em determinar a resposta do modelo face às condições fronteira. Para execução da mesma, foram utilizados os dados que constam no Projeto BINGO produzido em 2020 pelo LNEC (Novo et al., 2020), face aos parâmetros físicos do escoamento. Utilizou-se a informação unicamente esta informação dado ao facto que não existem mais estudos neste âmbito na área em estudo.

Na primeira etapa foram analisadas as porosidades efetivas e as condutividades hidráulicas verticais e horizontais. Variando, unicamente, a porosidade dentro da gama de valores na bibliografia, não se verificaram grandes alterações no modelo de escoamentos, face aos valores das piezometrias. Este facto poderá, em parte, ser explicado pelo fenómeno de escala subjacente a este modelo. Tratando-se de um modelo de elevada amplitude regional em termos territoriais, as variações locais que se sabe existirem, não se refletem à dimensão das células unitárias do modelo. Na realidade pretende-se que o modelo reflita, no seu todo, as tendências hidrodinâmicas detetadas na análise de tendências previamente efetuadas. Admitindo este pressuposto, estabeleceram-se os valores originais da porosidade efetiva, e seguidamente, avaliou-se o efeito da condutividade hidráulica no modelo. Nesta análise verificou-se que, com o aumento da condutividade, em todas as camadas, a piezometria baixa em todo o sistema. Ao diminuir todas as condutividades, em todas as camadas, a piezometria aumenta. Contudo, não se pode afirmar que a camada 1, constituída por unidades com grande permeabilidade, tenha valores inferiores a 10 m/d. Desse modo, analisaram-se as conectividades da segunda e terceira camadas, para valores de condutividade horizontal e vertical, respetivamente, entre 10 m/d e 12m/d (1 m/d e 1,2m/d). Admitindo os valores iniciais, aumentou-se a permeabilidade nas duas camadas, e desse resultado obtiveram-se os valores de piezometria mais baixos em todo o sistema. Fazendo o inverso, verificou-se um aumento da piezometria para valores aceitáveis. Com base nessa informação avaliou-se o efeito de cada camada, com a diminuição das condutividades. Com as repetitivas diminuições, constatou-se que os valores mais aceitáveis para a segunda camada seriam entre 6 e 4 m/d (0,6 a 0,4 m/d), enquanto na terceira camada, os valores variaram entre 2 m/d e 0,1 m/d (0,2 a 0,01 m/d). Concluiu-se, assim, que os

valores mais indicados eram de 1 m/d (0,1 m/d) para a segunda camada e 0,1 m/d (0,001 m/d) para a terceira camada.

A segunda etapa consistiu em avaliar o efeito das condições fronteira no modelo. Constatou-se que estas condicionavam, significativamente, o fluxo subterrâneo. Numa primeira fase, concluiu-se que as condições do tipo "Constant Head" têm grande influência no resultado, sobretudo na zona NW da área, no estuário e no oceano.

No sector NW da área, a condição fronteira definida tem como objetivo preservar o escoamento que entra na área de estudo, por esse sector. Dado o efeito da piezometria, foi necessário realizar alguns ajustes, anteriormente mencionados, de modo que a piezometria se ajuste, o mais possível, dos valores observados nos furos 444/355 e 444/85. O estuário e o oceano são duas situações muito sensíveis na questão das condições fronteira. No caso do estuário foi necessário garantir que o fluxo, na primeira camada, se dirige para este. Deste modo, assumiu-se que junto às margens do estuário uma piezometria igual a 0 m, mas sem a considerar uma condição fronteira do tipo *constant head*. Na camada 2 e 3, definiu-se essa condição fronteira, mantendo as condições piezométricas obtidas inicialmente no processo de Krigagem. Desse resultado obteve-se a direção do fluxo nas camadas. A situação do oceano foi semelhante, contudo foi necessário definir uma condição fronteira na região referente à península de Troia, de modo a poder simular a entrada de água proveniente do oceano, que tem bastante efeito na região. Porém, dadas as circunstâncias observadas no modelo, não foi possível eliminar totalmente alguns artificios, uma vez mais, devido à falta de dados na região. No resto da costa litoral oeste, aplicaram-se os mesmos princípios que no estuário, de modo a permitir que o fluxo seguisse em direção ao oceano.

Para além das condições fronteira, averiguaram-se situações de alguma importância no sector E da área representada, pelo efeito de charneira. Na margem esquerda do rio esses efeitos devem-se aos valores de piezometria baixos, bem como às características geológicas do meio, e espessura das camadas. Na margem direita do rio Sado, os efeitos são influenciados pela geologia, mas também pela condição fronteira de *constant head* e *no flux*, que promove a entrada de água no sistema. Do ponto de vista do escoamento, verifica-se a escorrência em direção às camadas 2 e 3. Contudo, dado ao facto de a condição fronteira ter uma ponderação significativa, de modo a simular o fluxo nesse local, esta não pode ser removida. Outros motivos que podem influenciar a situação descrita são o facto de a espessura da camada ser pequena naquele local e da permeabilidade da primeira camada ser superior às restantes camadas.

Apesar destes ajustes, verificou-se que a piezometria da área em relação ao terreno topográfico é divergente, uma vez que a piezometria da área é condicionada por um conjunto reduzido de pontos, não ajustados a uma escala regional, o que provoca a ocorrência de alguns artificios. Para solucionar esta situação, foram fixados pontos fictícios com valores de piezometria condicionada pelo modelo, que se encontram representados na Figura 5.7.

Realizados os ajustes, fundamentais para a calibração do modelo, analisaram-se os valores de piezometria resultantes da modelação e compararam-se com os valores registados

para o mês 8, do ano de 2006. Da calibração, verificou-se que grande parte dos pontos se encontra perto da linha 1:1, os únicos pontos que apresentam desvios são os furos 476/21 e 476/20, embora tais não sejam significativos.

Para uma melhor compreensão dos resultados da análise de sensibilidade, apresentam-se nos próximos subcapítulos um resumo das características do modelo face aos limites (condições fronteiras) definidos, bem como as propriedades hidrogeológicas das camadas.

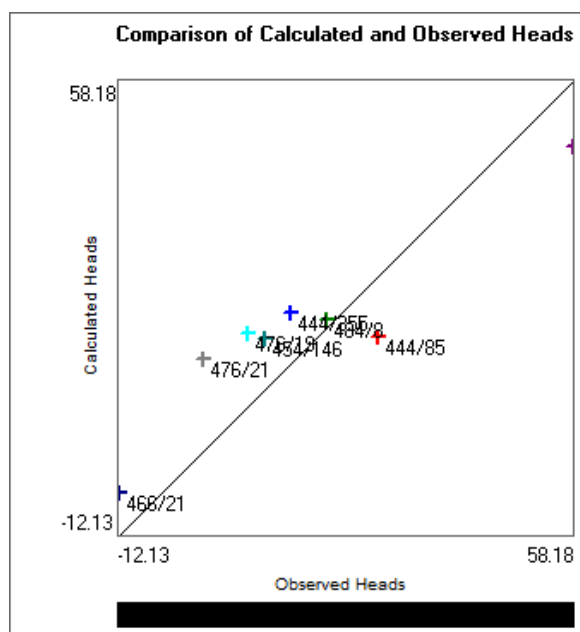


Figura 5.7 - Gráfico da comparação dos dados obtidos com os dados provenientes do modelo

### 5.1.3.1 Limites

Em resultado das análises de sensibilidade do modelo realizadas, que constam no capítulo 5.1.2, foram estabelecidas condições de fronteira do modelo. Para o caso em estudo foram definidas as seguintes condições: *Constant head No flux* e *Constant flux*.

As condições fronteira *Constant head* foram definidas nas zonas consideradas como entrada de água no sistema, definida no sector NW, N e E, bem como na zona com interação com a água do mar (oceano e estuário). Na primeira situação, as condições permitiram definir a carga hidráulica que vem do sistema N e NW. A condição fronteira a E da área serve para ajustar a piezometria e considerar a entrada de água nesse sector, o que pareceu ser o mais adequado face à falta de informação existente sobre o sistema aquífero indiferenciado que se desenvolve a Este.



Os valores da carga hidráulica na condição N mantiveram os valores da piezometria inicialmente obtidos no processo de Krigagem, seguida de uma condição fronteira do tipo “No Flux”, que limita o sector do estuário do Tejo e do Sado . Na condição fronteira NW foram definidas as piezometrias representadas na Figura 6, provenientes da análise de sensibilidade do modelo de escoamentos.

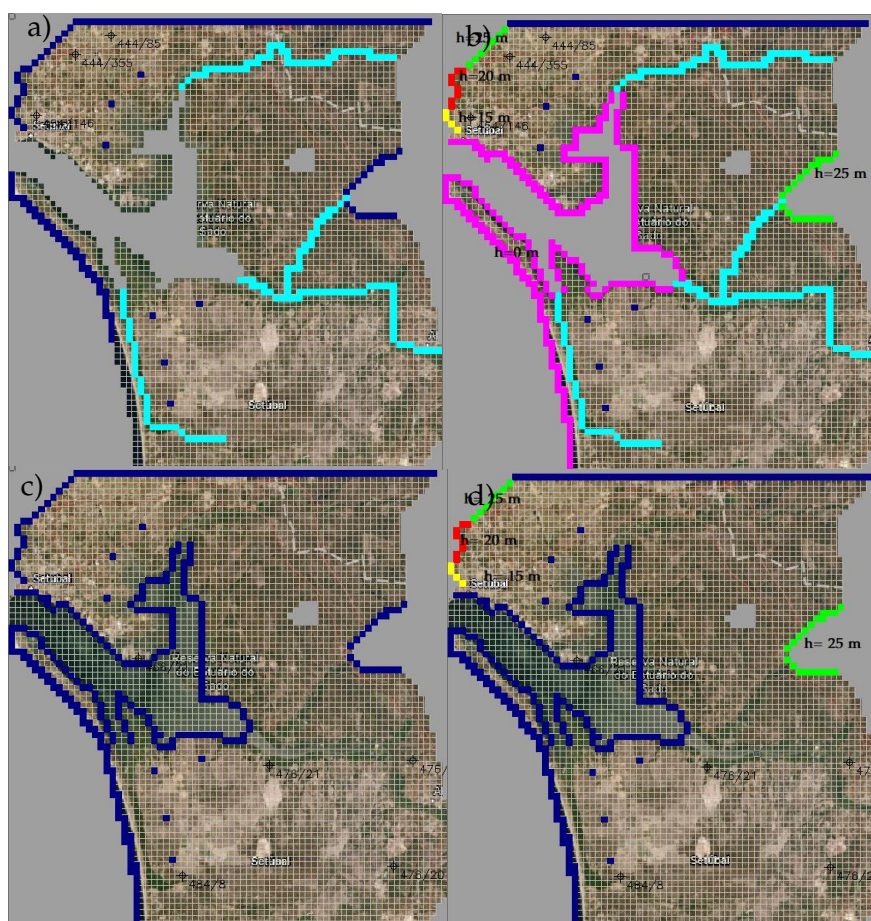


Figura 5.8 - Condições do modelo de escoamentos na camada 1 (a e b) e na camada 2 e 3 (c e d); amarelo: 15 m; vermelho: 20 m; verde: 25 m; azul-escuro (valores de piezometria provenientes da Krigagem).

A outra condição fronteira refere-se à zona do estuário do Sado e Oceano Atlântico. Para simular este efeito, como exemplificado na análise de sensibilidade, definiu-se na península de Troia,  $h=0$  m na primeira camada. Nas restantes camadas repetiram-se os valores obtidos da Krigagem, o que permitiu o fluxo dirigir-se no sentido litoral para o oceano.

Para além destas condições fronteira existem 4 cursos de água, sendo um dos principais o Rio Sado, seguido da Ribeira da Marateca, da Ribeira de São Martinho e da Vala Real. Atendendo às características dos rios. O Rio Sado tem uma largura de 250 m, representado por uma espessura de sedimentos de 2,5 m para uma condutividade de  $432 \text{ m}^3/\text{d}$ , em comparação com outros rios com uma largura de 50 m por uma espessura 1 m de sedimento, para valores de condutividade  $108 \text{ m}^3/\text{d}$



As condições do tipo *No flux*, definiram-se na envolvente da área do sistema aquífero, como se observa na Figura 5.7. A norte da margem direita ocorre o afloramento do soco Paleozoico, funcionando como uma zona de charneira.

### 5.1.3.2 Parâmetros hidrogeológicos

As propriedades hidrogeológicas consideradas, neste caso, foram apenas físicas. Tendo por base a caracterização das camadas do ponto de vista hidrogeológico, e proveniente da análise de sensibilidade do modelo, bem como das referências bibliográficas analisadas, referentes a projeto BINGO foram assumidos os seguintes dados que constam na (Tabela 5.2). Por definição, a condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) é 10 vezes inferior à condutividade horizontal ( $K_h$ ) em todas as unidades.

Tabela 5.2 - Propriedades hidrogeológica das camadas do modelo

| Parâmetros                  | Camada 1 |        | Camada 2 | Camada 3 |
|-----------------------------|----------|--------|----------|----------|
|                             | Zona N   | Zona S | Zona N   | Zona S   |
| K horizontal (m/d)          | 12       | 9      | 1        | 0,1      |
| K horizontal - falhas (m/d) |          |        | 0,4      | 0,4      |
| K vertical (m/d)            | 0,12     | 0,9    | 0,1      | 0,01     |
| K vertical - falhas (m/d)   |          |        | 0,4      | 0,4      |
| Porosidade Efetiva          | 0,2      | 0,2    | 0,14     | 0,12     |
| Porosidade Efetiva falhas   |          |        | 0,18     | 0,18     |

Uma vez que admitiu a ocorrência de percolação de água ao longo das camadas subjacentes, foi necessário definir valores de drenância vertical para as camadas em estudo assumindo valores 8,64 m/d para a camada 1 para a camada 2 0,0864 m/d e a camada 0,000864 m/d.

Os valores de piezometria determinados para as diferentes situações tiveram em consideração furos referentes ao sistema aquífero da Margem Esquerda da Bacia do Sado e a um furo localizado no sistema Indiferenciado para ajudar no ajuste do modelo que estão definidos no anexo B5. As malhas da piezometria obtidas dos processos de Krigagem apresentam-se em anexo B6. Seguindo os resultados da análise de sensibilidade do modelo os dados de entrada do modelo constam na Tabela 5.3.

A abordagem utilizada é assumidamente grosseira e generalista carecendo de ajustamentos futuros uma vez que os valores destas propriedades terão indubitavelmente uma muito elevada variabilidade espacial tridimensional. O desenvolvimento de um modelo suficientemente fidedigno que de alguma forma reflita a variabilidade destes parâmetros extrava-saria, de todo, as possibilidades e limites temporais deste trabalho.

Tabela 5.3 - Tabela resumo final da propriedades hidrogeológica do modelo

| Parâmetros  | Camada 1 |        | Camada 2 | Camada 3 |
|---|----------|--------|----------|----------|
|   | Zona N   | Zona S | Zona N   | Zona S   |
| K horizontal (m/d)  | 12       | 9      | 1        | 0,1      |
| K horizontal - falhas (m/d)   |          |        | 0,4      | 0,4      |
| K vertical (m/d)  | 0,12     | 0,9    | 0,1      | 0,01     |
| K vertical - falhas (m/d)   |          |        | 0,4      | 0,4      |
| Porosidade Efetiva  | 0,2      | 0,2    | 0,14     | 0,12     |
| Porosidade Efetiva falhas   |          |        | 0,18     | 0,18     |
| Drenância vertical (m/d)  | 8,64     | 8,64   | 0,864    | 0,00864  |
| Condição fronteira "rios":<br>K, condutividade hidráulica dos sedimentos $8,64 \cdot 10^{-7} \text{m/d}$<br>L, comprimento máximo da condição fronteira rio na célula: 500 m<br>W, comprimento máximo da condição fronteira rio na célula: 50 m no rios mais pequenos e 250 m no rio Sado<br>Espessura máxima de sedimentos: 5 m; 2,5 m e 1 m |          |        |          |          |

## 5.2 Análise e interpretação do modelo de escoamento

### 5.2.1 Análise da situação inicial

No modelo obtido inicialmente que consta na Figura 5.9, através da calibração descrita anteriormente, verifica-se que o fluxo subterrâneo ocorre, preferencialmente, na segunda e terceira camada do modelo, em que na primeira existem zonas onde o nível piezométrico se encontra abaixo da cota da base da primeira camada, o que representa a realidade, sobretudo no sector Sul da área de estudo, dada a permeabilidade dos solos, fazendo com que a camada 1 do sistema a sul funcione como uma zona de recarga rápida em épocas de pluviosidade. Contudo, na camada 1, verifica-se que a N, na zona de cota mais alta, a piezometria encontra-se mais baixa.

Com a falta de informação relativa à área, torna-se difícil aferir se a piezometria se encontra acima dos valores da cota de base da segunda camada. O fluxo assume a direção do estuário, com exceção da área a Sul, em que fluxo assume a direção do Oceano Atlântico. No extremo NW o fluxo dirige-se para fora da área de estudo em direção ao estuário do Tejo. Verifica-se a influência dos rios no sistema, na direção do fluxo, sendo que estes são transversais ao sentido de escoamento. Junto à Península de Mitrena ocorre o rebaixamento do nível piezométrico condicionado, parcialmente, pela atividade antrópica da zona. O escoamento da camadas 2 e 3 são regulares e seguem a tendência piezométrica local, sem qualquer alteração, em que camada 2 apresenta fluxos mais elevados que a camada 3, devido aos valores das condutividades hidráulicas.

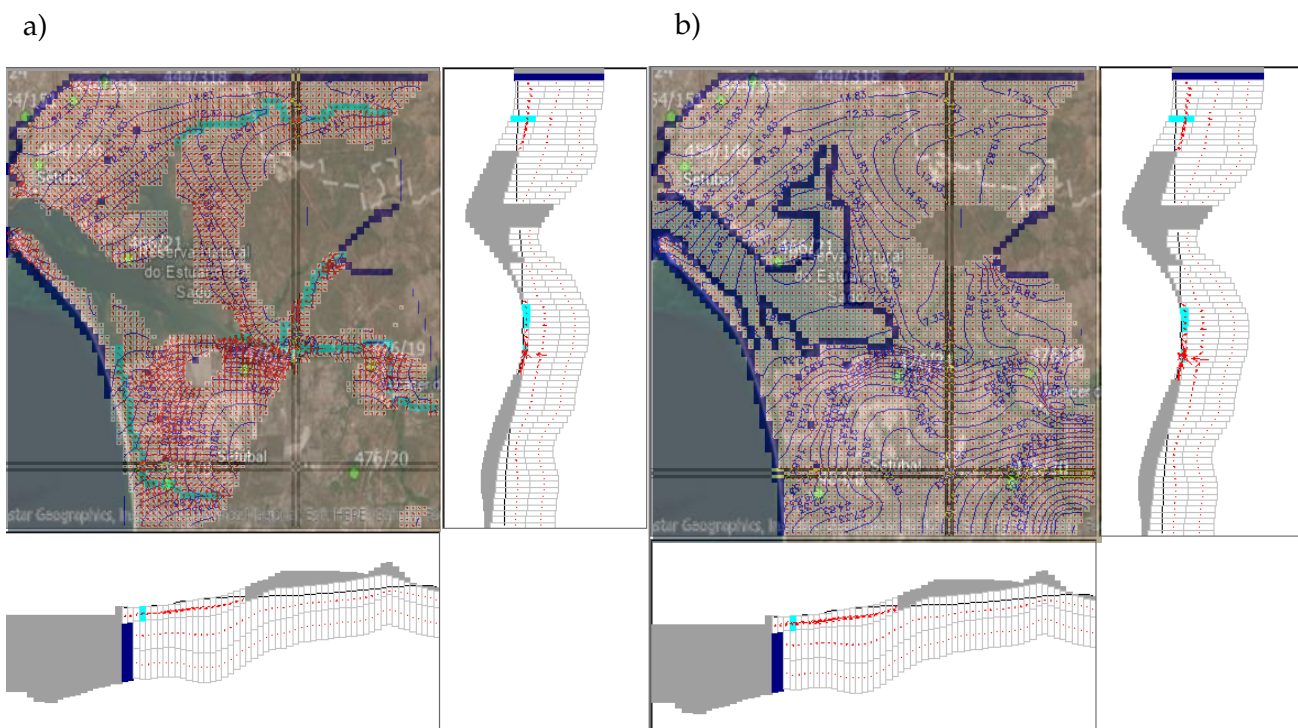


Figura 5.9 - Distribuição das linhas isopiezométricas e sentidos dos fluxos subterrâneos na primeira camada (a) e segunda camada (b) do modelo original (calibração), e com a respetiva localização furos (marcados a verde).

Considerando o facto que a área é afetada morfológicamente por uma zona de falhas à escala regional, estas terão impacto na direção e orientação do fluxo. Tendo em conta este fator, definiu-se o efeito das falhas com maior preponderância, em profundidade, afetando, unicamente, as camadas 2 e 3 da área de estudo, como consta na Figura 5.10.

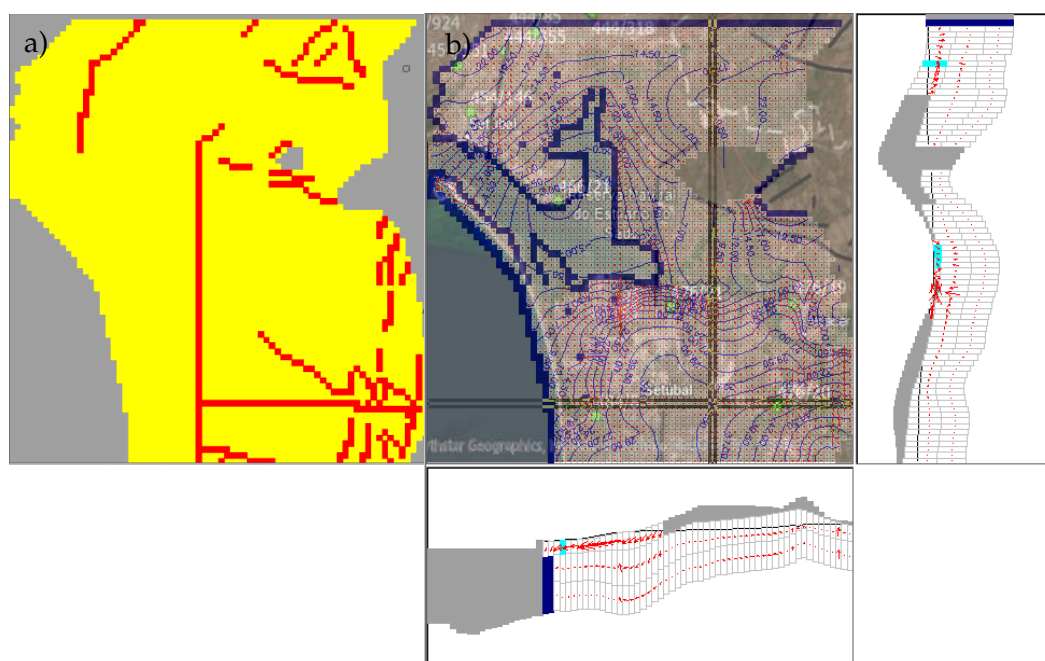


Figura 5.10 - Localização das zonas de falha tendo por base na Figura 2.3 (a) e o respetiva distribuição das linhas isopiezométricas e sentidos dos fluxos subterrâneos escoamento (b), e com a respetiva localização furos (marcados a verde) e falhas (preto).

Para esta condição, definiu-se que a condutividade hidráulica horizontal nas zonas de falha ( $K_{hf}$ ) fosse superior as duas camadas, em que  $K_{hf} > K_{h2}$ , mas  $K_{hf} >> K_{h3}$  mesmo se aplica para a condutividade vertical. Realizando o mesmo procedimento, verificou-se que com a calibração não se registaram variações significativas nos resultados obtidos na Figura 5.10.

Na primeira camada não se verifica que efeito das falhas é reduzido, a não ser no sector Sul, junto à Lagoa salgada, no qual o fluxo de água converge em profundidade para as unidades inferiores. Na segunda e terceira camada, regista-se uma diminuição dos valores piezométricos sendo mais significativo na terceira. Na zona SW, as falhas com direção W-E condicionam o fluxo segundo essa direção, bem como em profundidade. Na zona SE, o fluxo assume o sentido NE, na zona Sul, junto ao horst do Monte Sobral, os efeitos das falhas são significativos, verificando-se um rebaixamento na zona. No sector N da área o efeito é menor, contudo, condiciona o fluxo em profundidade.

## 5.2.2 Avaliação da evolução dos dados

Começando por analisar do modelo para o ano 2011, verificou-se que na presença de zonas de falhas representada na Figura 5.11b comparativamente à Figura 5.11a, que não contém a presença sem presença dessas zonas de falhas, uma diminuição do nível piezométrico na área de estudo, em especial no sector sul da área de estudo. Observou-se que no sector NE, junto Serra de Serrinha um rebaixamento mais acentuado, comparativamente, às zonas sem falhas.

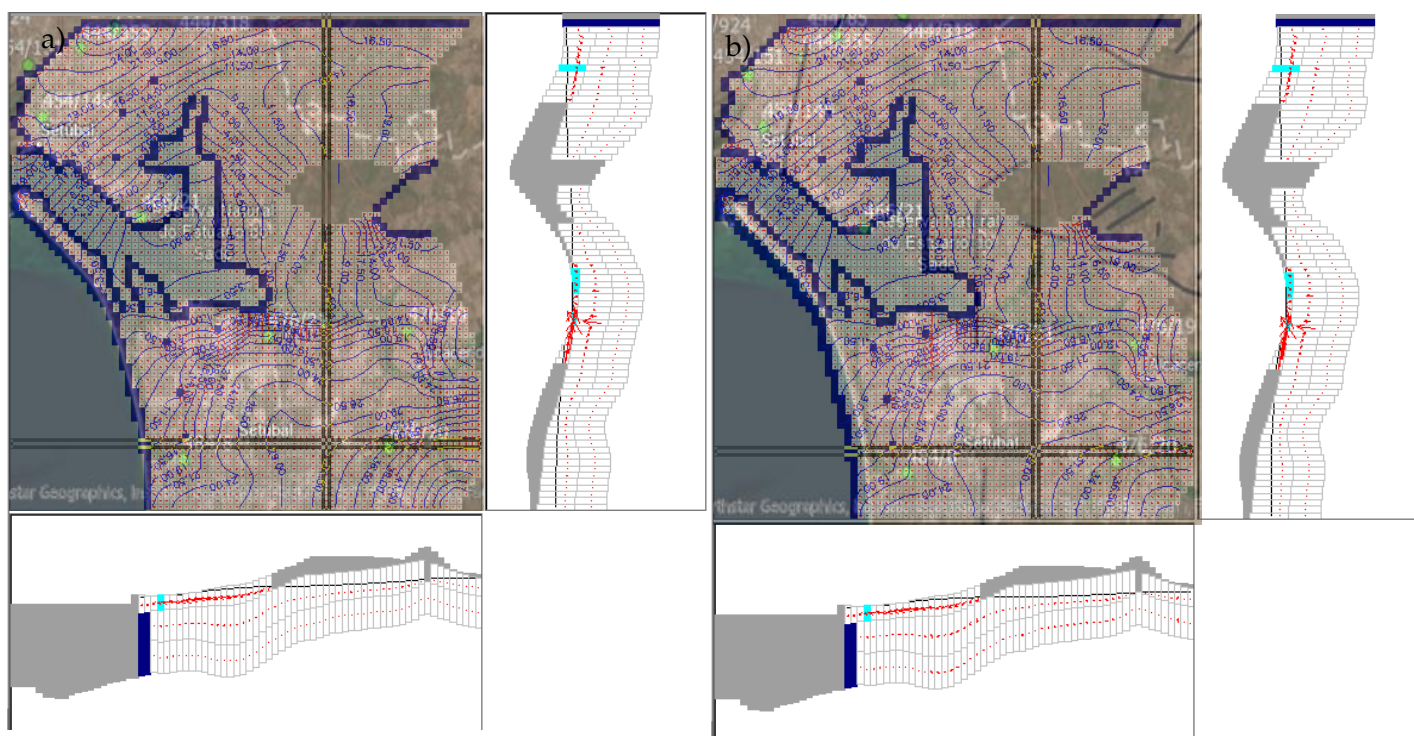


Figura 5.11 - Distribuição das linhas isopiezométricas na segunda camada para o ano 2011, sem zonas de falhas (a) e com zonas de falha (b), e com a respetiva localização furos (marcados a verde) e falhas (a preto).



Segundo a Figura 5.12, no ano 2015 não se registaram variações significativas, comparativamente ao ano de 2011 segundo a Figura 5.12. Contudo, no sector SE da área, ocorre o rebaixamento piezométrico, em que os valores de piezometria na área do furo 476/20 apresentam cotas inferiores a 30 m. Esse efeito aumenta com a definição das zonas de falhas no modelo. Uma das consequências de o modelo possuir valores de piezometria inferiores deve-se, também, ao efeito de recarga do sistema. Comparativamente ao ano de 2011, a recarga foi menor.

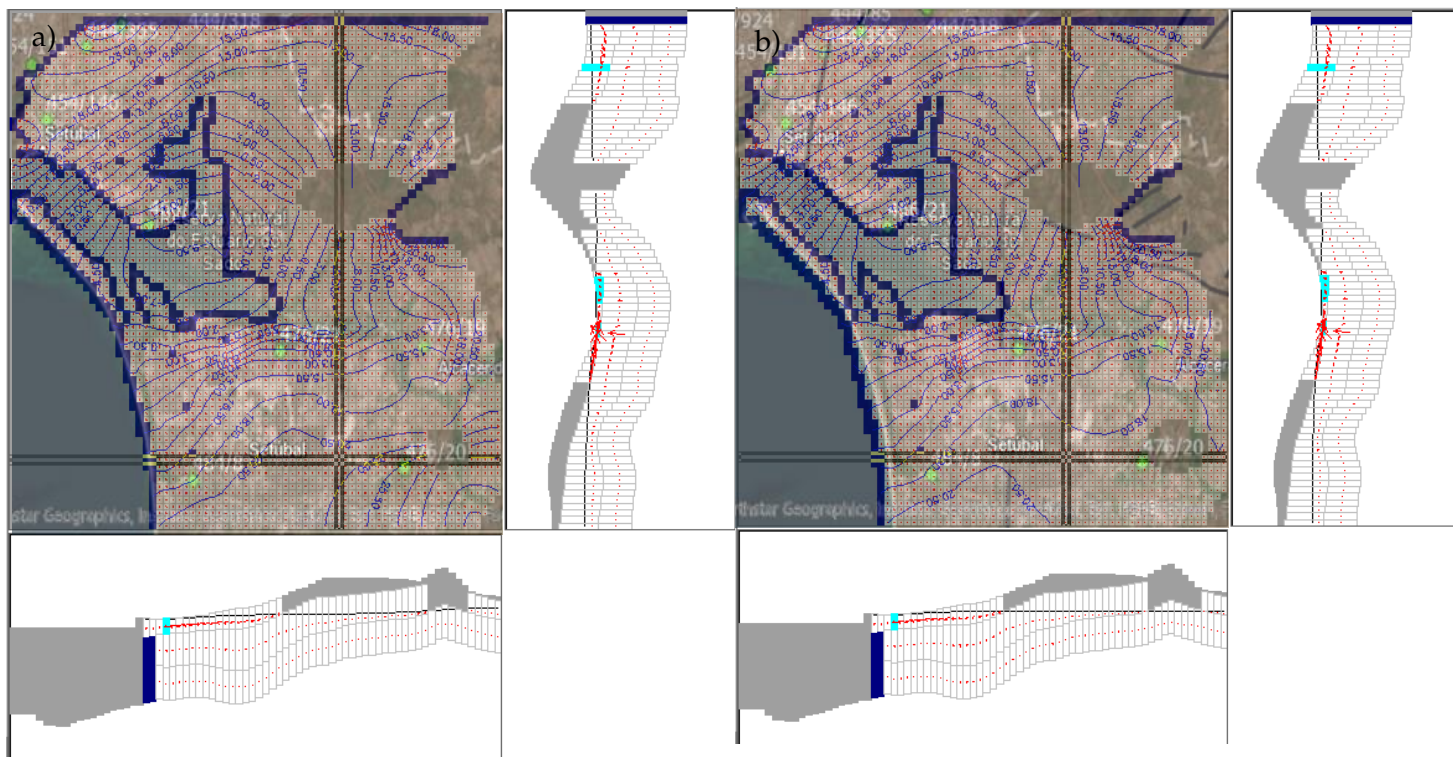


Figura 5.12 - Distribuição das linhas isopiezométricas na segunda camada para o ano 2015 sem zonas de falhas (a) e com zonas de falha (b), e com a respetiva localização furos (marcados a verde) e falhas (a preto).

Fazendo o mesmo procedimento, avaliou-se a diferença de piezometria dos valores observados com os modelados, obtendo-se as Figuras 5.13. No sector NW observa-se o efeito das falhas na área que marca o escoamento subterrâneo relativo à segunda camada. Comparativamente ao ano 2011, verifica-se maiores diferenças, que podem ser justificadas pelos valores de recarga no sistema. Verificando a mesma situação que a Figura 5.13, pressupõe-se que existem fatores que comprometem o escoamento subterrâneo que não foram considerados. No sector SE observasse que um rebaixamento mais significativo do que o ano 2011. Contudo, relativamente, ao ano 2015 o rebaixamento não é menor. No sector Sul é possível observar as zonas de recarga no sistema tendo por base nos efeitos de charneira

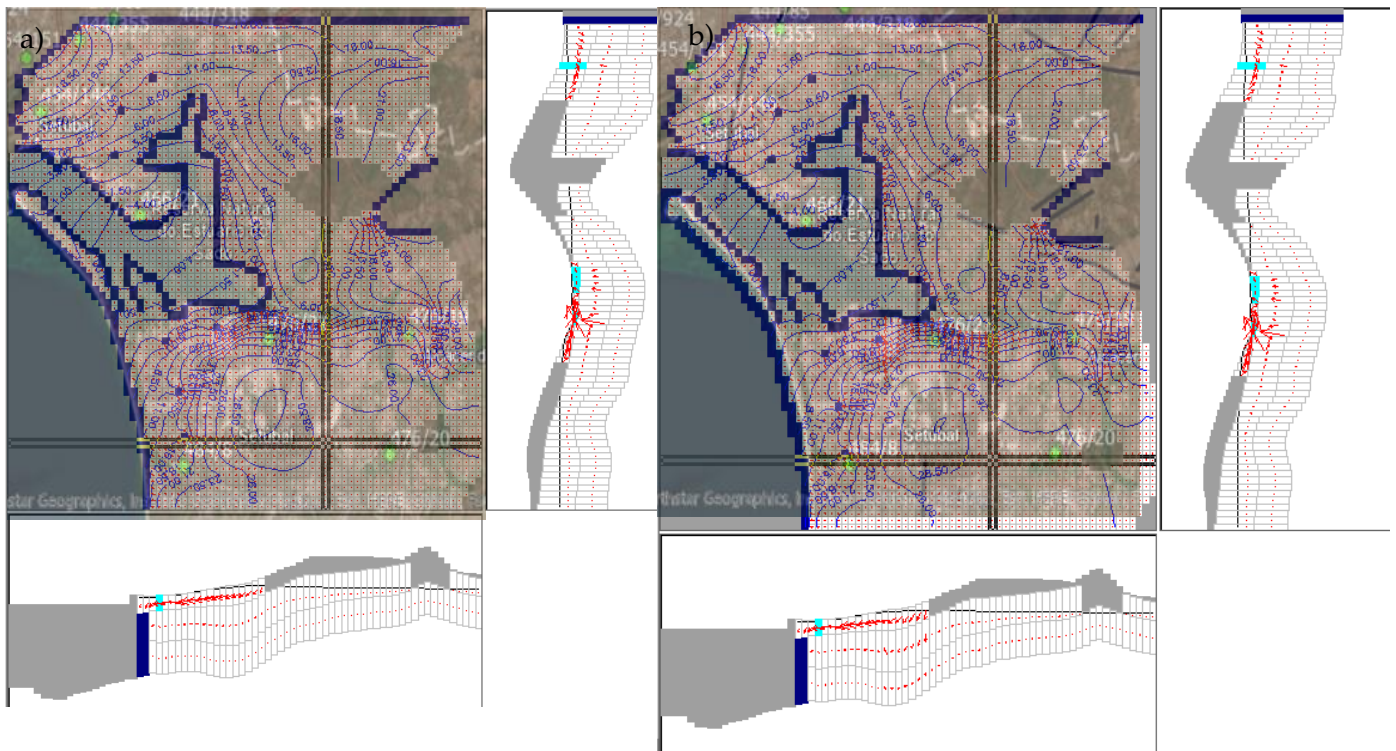


Figura 5.13 - Distribuição das linhas isopiezométricas na segunda camada para o ano 2020 sem zonas de falhas (a) e com zonas de falha (b), e com a respetiva localização furos (marcados a verde) e falhas (a preto).

### 5.2.2.1 Análise das diferenças entre anos

De modo a poder avaliar com maior detalhe a evolução dos dados entre os respetivos anos, realizou-se a análise das diferenças das malhas das piezometrias obtidas pelo programa PMWIN 5.3.1. Para tal recorreu-se à ferramenta “*Difference*”, da análise de imagens do software ArcGIS Pro.

Analisando os resultados para a situação sem a presença de zonas de falhas (Figura 5.14), observou-se que, entre os anos 2011 e 2015, ocorreu uma diminuição do nível piezométrico no interior da bacia, mais concretamente no sector SE da área de estudo, perto do furo 476/20 e um aumento junto ao estuário e no sector SE da Serra do Loureiro, sendo mais significativo junto ao estuário. Isto sugere que num espaço de 4 anos ocorreu um aumento do nível de piezométrico do 5 m, mas no interior da bacia, por alguns motivos anteriormente mencionados, ocorreu um rebaixamento significativo.

No caso da presença de zonas de falhas (Figura 5.15) a variação é mais significativa nos sectores com maior desenvolvimento dessas estruturas (sector SE), constatando-se diferenças na ordem dos 18 a 23 m. Na restante parte da bacia observa-se o mesmo fenómeno descrito na situação anterior. Na última situação, relativa à diferença entre os anos 2015 e 2020, verifica-se a ocorrência de um alinhamento onde a variação é significativa, mas negativa, isto é, de 2015 a 2020 ocorreu um aumento do nível piezométrico provocado pela subida do nível de

água do mar, revelando indícios do limite fronteiro da cunha salina. Relativamente à restante área, observam-se algumas similitudes com a diferença entre o ano 2015 e 2020. Contudo, com a presença de falhas ocorre um ligeiro aumento.

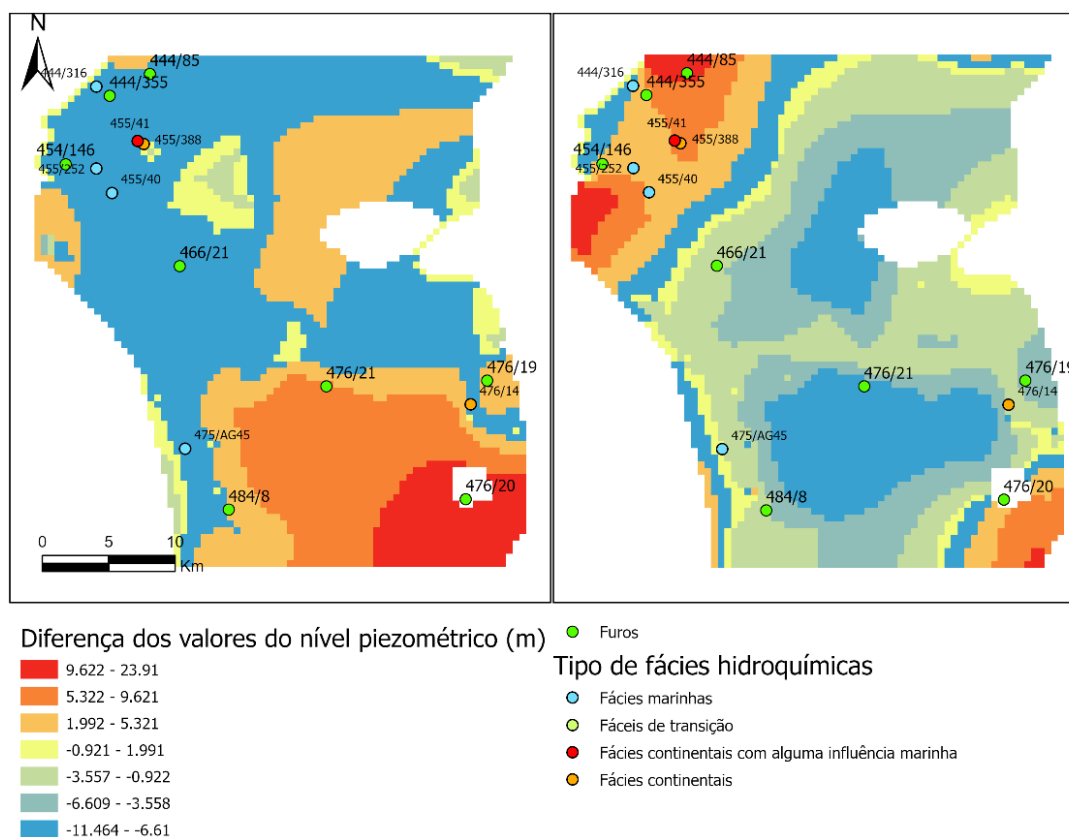


Figura 5.14 - Registo das diferenças dos valores de piezometria na situação sem falhas, entre os anos 2011 e 2015 (esquerda) e entre os anos 2015 e 2020 (direita).

De uma forma geral, as falhas apresentam um comportamento essencial na percolação da água entre as diversas camadas em profundidade. Contudo, as falhas que se encontram alinhadas à margem do estuário apresentam uma diminuição da profundidade do nível de água. Tendo por base a Figura 4.16, referentes à distribuição dos resultados técnica *Innovative rend*, constatou-se que nas áreas onde se observa uma diminuição e um aumento do valor da profundidade são congruentes com os resultados obtidos, em que o furo 476/20 exprime essa semelhança face à variação observada no resultado do modelo de escoamentos.

Com esta informação cruzou-se os dados obtidos na análise das fácies hidroquímicas, em que se concluiu que nos furos onde se verificou fácies marinhas a de transição observa-se o aumento da piezometria isto é diminuição da profundidade dos níveis de água na região.

No entanto, nos furos 455/252 e 455/40, ocorreu uma diminuição significativa dos valores de piezometrias para os anos 2015 a 2020. Com esta informação é possível supor que nesse sector existem outras variáveis para além do eustatismo, tal como a resposta de recarga do sistema em interação com a ação antrópica, o que sugere que nestes furos o comportamento químico das águas poderá sofrer pequenas mudanças, mas que por si só serão insuficientes para mudar o tipo de fácies. Nas envolventes aos furos com fácies continentais ocorreu um

rebaixamento dos níveis piezométricos junto ao sector NW e SE. No furo 476/14 ocorreram oscilações do nível de água do mar, permitindo uma certa influência da ação marinha.

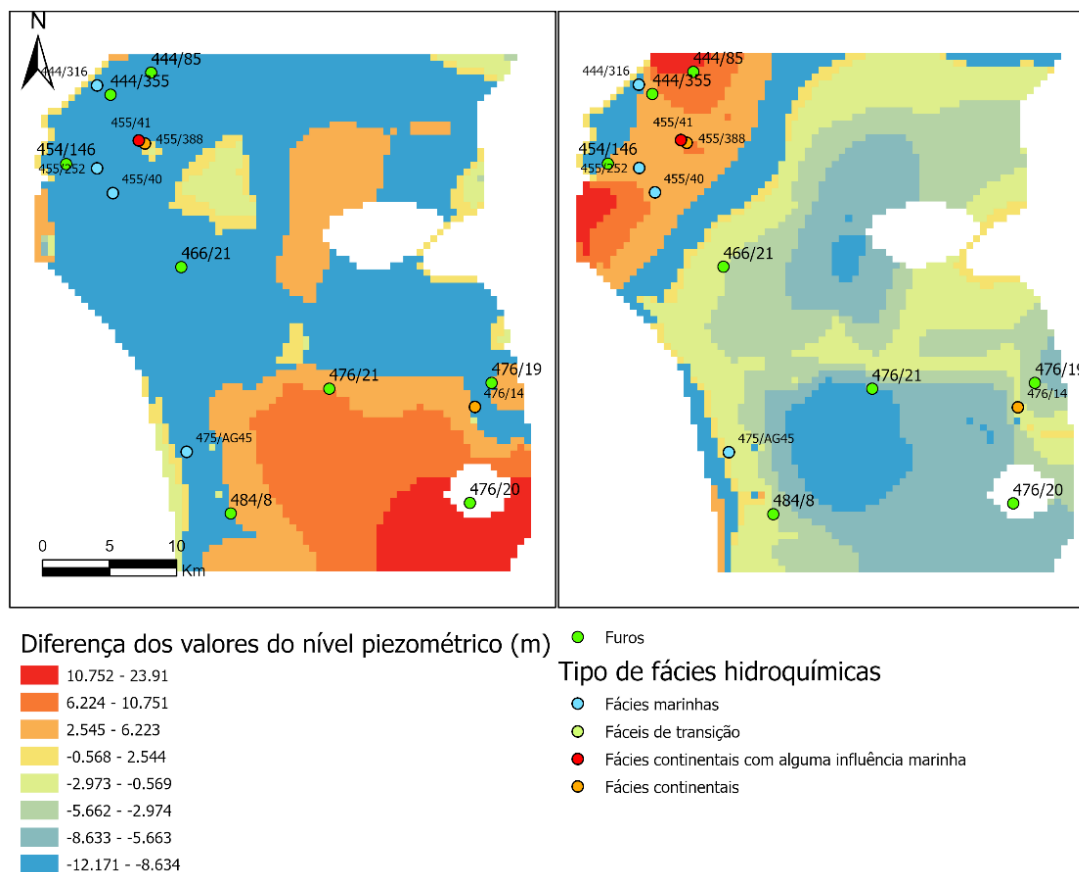


Figura 5.15 - Registo das diferenças dos valores de piezometria na situação com falhas, entre os anos 2011 e 2015 (esquerda) e entre os anos 2015 e 2020 (direita).



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No trabalho desenvolvido nos dois últimos capítulos, foi possível evidenciar duas situações, relativamente preponderantes, a considerar para análise futura mais detalhada do sistema aquífero da Margem Esquerda da Bacia do Tejo-Sado. A primeira deve-se ao facto de existirem evidências da ocorrência de um aumento da profundidade do nível de água, de forma geral, no interior da bacia, ao longo dos últimos 15 anos. Tendo por base as análises realizadas pelo métodos *Innovativite trend* e FAMD, foi possível realçar que a evolução da profundidade do nível de água, não foi igual em todos os sectores da área de estudo.

Nos sectores estuarinos, verifica-se uma diminuição da profundidade do nível de água no estuário do Tejo e Sado, resultante das variações dos níveis eustáticos, que pode ser corroborada pelos resultados das análises hidroquímicas. Os sectores mais distais, no entanto, apresentam aumento da profundidade do nível de água, em particular, no sector SE da área, referente ao furo 476/20.

Com a análise estatística de *K-means* e de HCPC, concluiu-se que a evolução nos furos não é a mesma ao longo do tempo. Os furos com evoluções crescentes no aumento da profundidade do nível de água e com maiores oscilações encontram-se nos sectores mais interiores da bacia, com a exceção do furo 476/20, sugerindo os efeitos de recarga da do sistema e a possibilidade da ação antrópica. Nas zonas mais distais, as tendências são mais constantes, mas com alguma oscilação resultante da variação dos níveis eustáticos conjugada com ação antrópica.

Através da análise MK e *Innovative trend* foi possível determinar o efeito das variações significativas das tendências e das inflexões observadas, permitindo aferir que a partir de 2010 e posteriormente em 2015 se começaram a observar variações significativas, representando tendências positivas anómalas do aumento da profundidade do nível de água.

Estas informações são corroboradas com os resultados verificados na análise das fácies hidroquímicas, em que nas zonas distais verifica-se a influência das águas marinhas na zona estuarina, a progredir para o interior da bacia, com algumas exceções que foram referenciadas no Capítulo 4, promovendo a ocorrência das fácies de transição.

Existe a possibilidade de a ação antrópica ser um fator preponderante em alguns sectores, dado ao facto de existirem valores elevados de  $Cl^-$  no interior da bacia, proveniente das atividades agroindustriais e agropecuárias.

Desse modo no futuro seria importante analisar estas ocorrências à escala local, para certificar e corroborar esta hipótese, como também determinar outros fenómenos que não são possíveis de serem detetados à escala regional. Nas zonas de falha, estas deverão ser alvo de

estudos, dadas as relações observadas relacionadas com a ocorrência de fácies marinhas no interior da bacia.

Contudo a falta de informação representativa relativa aos anos posteriores a 2010, impossibilita comparar os resultados com análise de tendência, dada esta situação é necessário recolher mais informação relativamente aos parâmetros químicos e considerando uma escala temporal maior.

Com base nos resultados obtidos, analisaram-se à escala regional as situações anómalas no sector Sul, de modo a compreender até que ponto os fatores ambientais e antrópicos são os principais agentes, para tal foi feita a construção e análise do modelo de escoamentos.

Para o caso em estudo, analisaram-se duas situações distintas nas quais se definiu o modelo sem a zonas de falha e outra com zonas de falhas, de modo a determinar a influência que estas causam no escoamento e modo como estas se relacionam com as tendências observadas no Capítulo 4.

Na construção do modelo, a falta de informação relativa a furos e poços forçou a criação de pontos fictícios que registassem a topografia do terreno, bem como das respetivas superfícies representativas do topo das camadas do modelo numérico de escoamentos. Futuramente, seria preponderante avaliar a topografia do terreno para uma escala mais adequada, proceder a uma recolha completa de dados referentes a furos piezométrico e, com esses furos, reajustar os horizontes deste modelo.

Nos processos de calibração e análise de sensibilidade do modelo foi necessário realizar alguns ajustes, dada a escassez de informação relativa aos dados hidrogeológicos na região, que comprometem o modelo de escoamentos numéricos desenvolvido, direta e indiretamente.

Uma das grandes dificuldades na modelação surgiu no sector Norte da área do modelo, devido à falta de valores piezométricos registados, pelo que o ajuste dessa área se fez com base no furo 467/19, que se encontra publicado no serviço de monitorização do SNIRH. Por motivos desconhecidos só apresenta dados até 1994, o que não deixa de ser um infortúnio, uma vez que é o único furo na região com dados disponíveis ao público.

A definição de condições fronteira na região permitiu definir com maior detalhe essa área, contudo, não foi possível representar esta fielmente sendo que ocorrem algumas imperfeições.

Da análise do modelo de escoamento obtiveram-se os valores que podem ser considerados aceitáveis, dadas as circunstâncias na construção e execução do mesmo. Verifica-se assim uma diminuição continua dos níveis piezométricos, ao longo do tempo. No sector SE da área verificaram-se os registos da diminuição do nível piezométrico, localizados na área furo 476/20, sendo mais significativos com a presença de zonas de falhas que condicionam o fluxo subterrâneo.

Com base na análise das diferenças entre os anos 2011, 2015 e 2020, foi possível aferir que a evolução dos dados detetada, face às técnicas aplicadas na análise estatística, que as variações registadas permitem assegurar os resultados que foram obtidos da análise do *Innovative trend*. Face aos parâmetros hidroquímicos estes justificam os dados até 2011, contudo

uma vez que os dados analisados se referem a um curto período temporal de 2000 até 2010, não é possível justificar se os fenômenos observados possuem tendência evolutiva. Deste modo, não é possível justificar algumas das situações que ocorrem entre 2015 e 2020.

Em conclusão, para desenvolvimento do tema abordado é essencial adicionar e complementar a informação inerente ao modelo de modo a ajustá-lo para que este seja o mais representativo da realidade e juntamente com técnicas de análise estatística de tendências, compreender comportamento e evoluções do escoamento, para se definir a melhor medida de ação para a preservação deste recurso.



## BIBLIOGRAFIA

- Adamovic, M., Branger, F., Braud, I., & Kralisch, S. (2016). Development of a data-driven semi-distributed hydrological model for regional scale catchments prone to Mediterranean flash floods. *Journal of Hydrology*, 541, 173–189. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.032>
- Akhtar, N., Izzuddin, M., Ishak, S., Ahmad, M. I., Umar, K., Shaiful, M., Yusuff, M., Anees, M. T., Qadir, A., Khalaf, Y., Almanasir, A., Barinova, S., & My, A. M. Y. U. (2021). Modification of the Water Quality Index (WQI) Process for Simple Calculation Using the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Method: A Review. *Water* 2021, 13(7), 905 <https://doi.org/10.3390/w13070905>
- Almazroui, M., & Şen, Z. (2020). Trend Analyses Methodologies in Hydro-meteorological Records. *Earth Systems and Environment*. 4(4), 713-738. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00190-6>
- Almeida, J. A. S., Barbosa, L. M. S., Pais, A. A. C. C., & Formosinho, S. J. (2007). Improving hierarchical cluster analysis: A new method with outlier detection and automatic clustering. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 87(2), 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2007.01.005>
- Almeida C., Mendonça J. J. L., Jesus M. R., & Gomes A. J. (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental Sistema Aquífero: Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda. Vol. III.* [https://snirh.apambiente.pt/snirh/download/aquiferos\\_PortugalCont/Ficha\\_T3.pdf](https://snirh.apambiente.pt/snirh/download/aquiferos_PortugalCont/Ficha_T3.pdf)
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26(1), 32–46. <https://doi.org/10.1111/J.1442-9993.2001.01070.PP.X>
- Antunes, M. T. (1983). Carta geológica de Portugal à escala de 1/50 000, Notícia Explicativa da folha 39-C (Alcácer do Sal). *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 55.
- Antunes, M. T., Mein, P. e Pais, J., 1986. Depósitos messinianos do sul de Portugal, mamíferos (incluindo rodentia e lagomorpha) e idades K-Ar. *Ciências da Terra (UNL)*, 8, 55-64.
- Antunes, M. T. & Mein, P. (1989). Petits mammifères du miocène terminal du Bassin de Alvalade (Portugal); comparaisons avec des faunes de l'Espagne et du Maghreb. *Boll. Soc. Paleont. Italiana*, 28(2-3), 161-170.

- APA. (2016). *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (RH5) Relatório Base, Parte 2 - Caracterização e Diagnóstico da Bacia Hidrográfica*. [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_SNIAMB\\_Agua/DRH/PlaneamentoOrdenamento/PGRH/2016-2021/PTRH5A/PGRH\\_2\\_RH5A\\_Parte2.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_SNIAMB_Agua/DRH/PlaneamentoOrdenamento/PGRH/2016-2021/PTRH5A/PGRH_2_RH5A_Parte2.pdf)
- APA. (2016). *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Sado e Mira (RH6), Relatório Base, Parte 2 - Caracterização e Diagnóstico da Bacia Hidrográfica*. [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_SNIAMB\\_Agua/DRH/PlaneamentoOrdenamento/PGRH/2016-2021/PTRH6/PGRH\\_2\\_RH6\\_Parte2.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_SNIAMB_Agua/DRH/PlaneamentoOrdenamento/PGRH/2016-2021/PTRH6/PGRH_2_RH6_Parte2.pdf)
- APA. (2021). *Relatório do Estado do Ambiente (REA) 2020/21* (2021st ed.). <https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/GeoDocs/geoportaldocs/rea/REA2020/REA2020.pdf>
- Azevêdo, M. T. M. (1997). *Depositional Architecture of the sedimentary infilling of the Pre-Tagus River in the upper Pliocene*. ECSA Meeting 1997, Estuarine and Coastal Sciences. Associação do Instituto Oceanografia, F.C.U.L., Lisboa.
- Azevêdo, M. T. M. (2006). *Interpretação das cinco fácies sedimentares do pré-Tejo no Pliocénico Médio da Península de Setúbal (sul de Lisboa)*. VII Congresso Nacional de Geologia, Livro de resumos, 2, 575-578.
- Barbosa, S. (2012). *Modelação de atributos hidrogeológicos do maciço envolvente à antiga área mineira da Quinta do Bispo* [Dissertação Doutoramento, Universidade NOVA de Lisboa] <http://hdl.handle.net/10362/9059>
- Brereton R.G. (2003). *Chemometrics, Data Analysis for the Laboratory and Chemical Plant* (1st ed.). John Wiley & Sons.
- Carvalho, A. M. G., Ribeiro, A., & Cabral, J. (1983-85). Evolução paleogeográfica da bacia cenozóica do Tejo-Sado. *Boletim Sociedade Geológica de Portugal*, 24, pp. 209-212.
- Carvalho, J. (2003). *Sísmica de alta resolução aplicada à prospecção, geotecnia e risco sísmico*. [Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa], 250. 98
- Chiang, W. H., Kinzelbach, W., & Rausch, R. (1998). *Aquifer simulation model for Windows: groundwater flow and transport modeling, an integrated pro-gram*. Bornträger
- Cotter, J. C. B., (1956). O Miocénico marinho de Lisboa. *Comunicações Geológicas dos Serviços Geológicos de Portugal*, XXXVI, supl., 170
- Cunha, P. P. (1992). *Estratigrafia e sedimentologia dos depósitos do cretácio superior e terciário de Portugal Central, a leste de Coimbra* [Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra]. <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/2015>
- Cunha, P., Pais, J., & Legoinha, P. (2009). *Evolução geológica de Portugal continental durante o Cenozóico-sedimentação aluvial e marinha numa margem continental passiva (Ibéria ocidental)*. 6º Simposio Sobre El Margen Ibérico Atlántico MIA09. [https://www.academia.edu/505136/Evolu%C3%A7%C3%A3o\\_geol%C3%B3gica\\_de\\_Portugal\\_conti-nental\\_durante\\_o\\_Cenoz%C3%B3ico\\_sedimenta%C3%A7%C3%A3o\\_aluvial\\_e\\_mari-nha\\_numa\\_margem\\_continental\\_passiva\\_Ib%C3%A9ria\\_ocidental](https://www.academia.edu/505136/Evolu%C3%A7%C3%A3o_geol%C3%B3gica_de_Portugal_conti-nental_durante_o_Cenoz%C3%B3ico_sedimenta%C3%A7%C3%A3o_aluvial_e_mari-nha_numa_margem_continental_passiva_Ib%C3%A9ria_ocidental)

- Cunha, P. P. (2019). *Cenozoic Basins of Western Iberia: Mondego, Lower Tejo and Alvalade Basins. The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach* (pp. 105-130). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11190-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11190-8_4)
- Davis, R. A., & Fitzgerald, D. M. (2004). *Beaches and Coasts*. Blackwell Publishing, Malden (USA), 419.
- De Vicente, G., Cloetingh, S., van Wees, J. D., & Cunha, P. P. (2011). Tectonic classification of Cenozoic Iberian foreland basins. *Tectonophysics*, 502(1–2), 38–61. <https://doi.org/10.1016/J.TECTO.2011.02.007>
- Dias, R., & Pais, J. (2009). Homogeneização da Cartografia Geológica do Cenozóico da Área Metropolitana de Lisboa (AML). *Comunicações Geológicas*, 96, 39–50.
- Dinpashoh, Y., Mirabbasi, R., Jhajharia, D., Abianeh, H. Z., & Mostafaeipour, A. (2014). Effect of Short-Term and Long-Term Persistence on Identification of Temporal Trends. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 617–625. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000819](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000819)
- Fahim A M, Salem A M, Torkey F A, & Ramadan M A. (2006). An efficient enhanced k-means clustering algorithm. *J Zhejiang Univ SCIENCE A*, 7(10), 1626–1633. <https://doi.org/10.1631/jzus.2006.A1626>
- Fernandes, R. (2005). *Modelação Operacional no Estuário do Tejo* [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa].
- Ferreira, R. (2007). *Caracterização geoambiental do sítio da Carrasqueira (Estuário do Sado)* [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa]. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/1355>
- Freire, P., Tarborda, R., & Andrade, C. (2006). Caracterização das praias estuarinas do Tejo. *APRH Congresso Da Água* (Vol 8°).
- Gameiro, C. (2009). *Fitoplâncton do estuário do Tejo (Portugal): dinâmica sazonal, interanual e produção primária* [Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa]. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/1610>.
- Granato, D., Santos, J. S., Escher, G. B., Ferreira, B. L., & Maggio, R. M. (2018). Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective. *Trends in Food Science and Technology*, 72, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.006>
- Granato, G. E., DeSimone, L. A., Barbaro, J. R., & Jeznach, L. C. (2015). *Methods for evaluating potential sources of chloride in surface waters and groundwaters of the conterminous United States* (No. 2015-1080). US Geological Survey.
- Helsel, D. R. (1987). Advantages of nonparametric procedures for analysis of water quality data. *Hydrological Sciences Journal*, 32(2), 179–190. <https://doi.org/10.1080/02626668709491176>
- Husson, F., Josse, J., Le, S., & Mazet, J. (2020). *Package 'FactoMineR': Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining*. CRAN Project. <https://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/FactoMineR.pdf>

- Husson, F., Lê, S., & Pagès, J. (2017). *Exploratory multivariate analysis by example using R*. (2<sup>o</sup> ed). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b21874>
- Hipólito, J., & Vaz, Á. (2011). Capítulo 8 - Águas Subterrâneas. Em J. R. Hiópolito, & Á. C. Vaz, *Hidrologia e Recursos Hídricos* (pp. 281-339). IST Pres.
- INE. (2011). *Anuário Estatístico da Região Lisboa: 2010* (I. P. Instituto Nacional de Estatística, Ed.). Instituto Nacional de Estatística, I.P. [url:https://www.ine.pt/xurl/pub/130332338](https://www.ine.pt/xurl/pub/130332338) [10/10/2022]
- INE. (2020). *Anuário Estatístico da Área Metropolitana de Lisboa: 2018*. [url:https://www.ine.pt/xurl/pub/410495118](https://www.ine.pt/xurl/pub/410495118) [10/10/2022]
- INE. (2022). *Plataforma de divulgação dos Censos 2021 – Resultados Provisórios*. [[https://www.ine.pt/scripts/db\\_censos\\_2021.html](https://www.ine.pt/scripts/db_censos_2021.html)] [10/10/2022]
- IPCC. (2022). Technical Summary: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. *Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Pörtner H.-O., Roberts D.C., Poloczanska E.S., Mintenbeck K., Alegria A., Craig M., Langsdorf S., Löschke S., Möller V., Okem A., & Rama B., Eds.). Cambridge University Press.
- IPMA. (2022). Séries longas. <https://www.ipma.pt/pt/oclima/series.longas/> [10/10/2022]
- IPMA. (2022). Normais Climatológicas. <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima> [10/10/2022]
- Jorge, P., & Brito, O. (2009). *Impactos da elevação do nível médio do mar em ambientes costeiros: O caso do estuário do Sado*. [Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10451/3151>
- Kazakis, N., Mattas, C., Pavlou, A., Patrikaki, O., & Voudouris, K. (2017). Multivariate statistical analysis for the assessment of groundwater quality under different hydro-geological regimes. *Environmental Earth Sciences*, 76(9), 1–13. <https://doi.org/10.1007/S12665-017-6665-Y/FIGURES/7>
- Kullberg, M. C., Kullberg, J. C. & Terrinha, P. (2000). Tectónica da Cadeia da Arrábida. Tectónica das regiões de Sintra e Arrábida. *Memórias Geociências do Museu Nacional História Natural da Universidade de Lisboa*, 2, 35 – 84.
- Kullberg, J. C., Terrinha, P., Pais, J., Reis, R. P., & Legoinha, & P. P. (2006a). *Arrábida e Sintra: dois exemplos de tectónica pós-rifting da Bacia Lusitaniana*. R. , Dias, A. Araújo, Terrinha P., J. C. Kullberg, & Eds (Eds.), *Geologia de Portugal no Contexto da Ibéria. Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, pp. 317-368. Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10362/1487>
- Kullberg, J. C., Terrinha, P., Pais, J., Reis, R. P., & Legoinha, & P. P. (2006a). *Arrábida e Sintra: dois exemplos de tectónica pós-rifting da Bacia Lusitaniana*. R. , Dias, A. Araújo, Terrinha P., J. C. Kullberg, & Eds (Eds.), *Geologia de Portugal no Contexto da Ibéria. Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, pp. 369-395. Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10362/1487>



- Lê, S., Josse, J., Rennes, A., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *JSS Journal of Statistical Software*, 25, 1-18. <http://www.jstatsoft.org/>
- Lourenço J.M. (2021). *The NOVAthesis LATEX Template User's Manual*. NOVA University Lisbon. url: [https://github.com/joaomlourenco/novathesis\\_word/raw/master/novathesis\\_word-FINAL-EN.pdf](https://github.com/joaomlourenco/novathesis_word/raw/master/novathesis_word-FINAL-EN.pdf).
- Machiwal, D., & Singh, P. K. (2015). Understanding factors influencing groundwater levels in hard-rock aquifer systems by using multivariate statistical techniques. *Environmental Earth Sciences*, 74, 5639–5652. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4578-1>
- Maia, R. (2009). *IWRM and IRBM Approaches: International Rivers*. Making the Passage through the 21st Century - Water as a Catalyst for Change. [https://sigarra.up.pt/fep/en/pub\\_geral.pub\\_view?pi\\_pub\\_base\\_id=59846](https://sigarra.up.pt/fep/en/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=59846)
- Matos, J.X. (2007) - *Caracterização Geológico-Mineira, Avaliação do Potencial em Recursos Metálicos e Recomendação de Trabalhos Futuros*— Área Marateca, MAEPA. Rel. Técnico DPMM, INETI, 16.
- Matos, J.X. (2008) — MAEPA — *Área de Marateca. Caracterização Geológica e Mineira Preliminar das Janelas Paleozóicas de Vela, Serra do Loureiro, Palma, Serrinha, Clérigos e Cordoeira*. DPMM LNEG/INETI, Rel. Técnico, pp. 17.
- Matos, J.X., Sousa, P., & Ricardo, J. (2009) — MAEPA — *Área de Marateca. Caracterização Geológica, Geofísica e Geoquímica da Região de Palma-Serrinha-Cordoeira, Definição de Alvos de Sondagem*. DPMM INETI, Rel. Técnico, pp. 66.
- Matos, J.X., Pereira, Z., Solá, R., Represas, P., & Dias, R., (2018). *The NW region of the South Portuguese Zone, a contribution of the LNEG regional mapping and mineral exploration programs*. X Congresso Nacional Geologia, Vulcânica II: 191-192, ISSN 1646-3269.
- Matos, J.X., Carvalho, J., Represas, P., Batista, M.J., Sousa, P., Ramalho, E.C., Marques, F., Morais, I., Albardeiro, L., Gonçalves, P., & Dias, P., (2020). Geophysical surveys in the Portuguese sector of the Iberian Pyrite Belt: a global overview focused on the massive sulphide exploration and geologic interpretation. *Comunicações Geológicas LNEG*, 107, Especial III, 41-78. ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X.
- Matos, J.X., (2021). *Alteração hidrotermal ácido-sulfato associada aos jazigos de sulfuretos maciços de Lagoa Salgada, Caveira, Lousal, Aljustrel e São Domingos (Faixa Piritosa Ibérica)*. [Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa].
- Manuppella, G. (Coord.), Antunes, M. T., Pais, J., Cardoso, J. L., Ramalho, M. e Rey, J., 1999. Carta geológica de Portugal na escala 1/50 000, Notícia Explicativa da folha 39-B (Setúbal). *Instituto Geológico e Mineiro*, 143 pp., Lisboa
- Mendonça, J., Silva, M., & Medeiros, A. (2003). Identification of Saline Contaminations by Water Logging in Wells Located in the Area Around the Estuary of the Sado River (Portugal). *Tecnología de la Intrusión de Agua de Mar en Acuíferos Costeros: Países Mediterráneos*. IGME, Madrid
- Mendonça, J., & Cabral, J. (2003). Identificação de falhas na Bacia Cenozóica do Tejo através de técnicas de investigação hidrogeológica Faulting recognition in the Tagus Cenozoic Basin using groundwater investigation techniques. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 90, 91-102.

- Mendonça, J. L., Medeiros, L. C., & Azevedo, C. C. (2004). Considerações sobre a hidrogeoquímicos do sistema aquífero terciário do Tejo-Sado na região central da Bacia do Baixo Tejo. *ARHP Congresso Da Água (7º)*.
- Mendonça J.L. (2009). *Caraterização geológica e hidrogeológica da Bacia Terciária do Tejo-Sado Administração da Região Hidrográfica do Tejo IP, Tagides*. Administração Da Região Hidrográfica Do Tejo IP, Tagides: Os Aquíferos Das Bacias Hidrográficas Do Rio Tejo e Das Ribeiras Do Oeste-Saberes e Reflexões (2009), pp. 59-66.
- Mirabbasi, R., Ahmadi, F., & Jhahharia, D. (2020). Comparison of parametric and non-parametric methods for trend identification in groundwater levels in Sirjan plain aquifer, Iran. *Hydrology Research*, 51(6), 1455–1477. <https://doi.org/10.2166/nh.2020.041>
- Moita, M. T. (2001). *Estrutura, variabilidade e dinâmica do Fitoplâncton na Costa de Portugal Continental* [Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa]. <https://digital.csic.es/handle/10261/131531>
- Moniz, C. M. de F. B. (2010). *Contributo para o conhecimento da falha de Pinhal Novo-Alcochete, no âmbito da neotectónica do vale inferior do Tejo* [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa].
- Monteiro, H. (2021). *Avaliação ecológica das comunidades planctónicas do estuário do Sado* [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto]. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/132118>
- Mooi, E., & Sarstedt, M. (2011). *A Concise Guide to Market Research, he Process, Data, and Methods Using IBM SPSS Statistics*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12541-6>
- Mumby, P. J. (2002). Statistical power of non-parametric tests: A quick guide for designing sampling strategies. *Marine Pollution Bulletin*, 44(1), 85–87. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00097-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00097-2)
- Na, S., Xumin, L., & Yong, G. (2010). Research on k-means clustering algorithm: An improved k-means clustering algorithm. 3rd *International Symposium on Intelligent Information Technology and Security Informatics*, IITSI 2010, 63–67. <https://doi.org/10.1109/IITSI.2010.74>
- Natura. (2022). *Reserva Natural do Estuário do Sado*. <https://natural.pt/protected-areas/reserva-natural-estuário-sado?locale=pt> [10/10/2022]
- Novo, M. E., Martins, T., & Henriques, J. M. (2020). *BINGO project: Impacts of climate change in groundwater in the lower Tagus - Coupling outputs from climate and re-charge models with aquifer modelling* (0605/111/1911002; REPORT 245/2020 – DHA/NRE). <http://repositorio.lnec.pt:8080/xmlui/handle/123456789/1012984>
- Oliveira, V. (1998) Ficha relatório do Projecto 2.1.3 — *Porspecção de Cu, Pb, Zn e Metais Associados na região de Sta. Catarina de Sítimos e de Palma-Marateca da faixa Piritosa*. Rel. Int. IGM, pp 4.
- Oliveira, V., Matos, J.X., Bengala, M., Sousa, P. (1998) - Principais alinhamentos vulcânicos a norte da Falha de Grândola, sob formações da Bacia Terciária do Sado e sua

- potencialidade mineira no contexto da Faixa Piritosa Ibérica. *Actas V Congresso Nacional de Geologia, Com. IGM T. 84 F. 2*, pp.F15-18, Lisboa.
- Oliveira, V.M.J., Matos, J.X., Rosa, C. (2001) - The NNW sector of the Iberian Pyrite Belt — new exploration perspectives for the next decade. *Geode Workshop — Massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt: new advances and comparison with equivalent systems, Aracena Spain*, pp.34-37
- Oliveira, M.M., (2009) – Aspectos Quantitativos dos Sistemas Aquíferos do Baixo Tejo. *Seminário sobre os sistemas aquíferos da Bacia do Baixo Tejo: o maior recurso hídrico subterrâneo em Portugal, Lisboa*, pp. 10
- Oliveira, J.T., Relvas, J., Pereira, Z., Matos, J.X., Rosa, C., Rosa, D., Munhá, J.M., Fernandes, P., Jorge, R., Pinto, A., (2013). Cap. II.2.7. - Geologia da sector Portuguesa, com ênfase na estratigrafia e na vulcanologia física, geoquímica e mineralizações da Faixa Piritosa. *Geologia de Portugal Vol. I - Geologia Pré-mesozóica de Portugal*. Eds. Dias, Araújo, Terinha e Kullberg, Escolar Editora, 673 - 767.
- ONU (2022). *Water and Sanitation - United Nations Sustainable Development*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/> [10/10/2022]
- Outras Paisagens. (2009). *Estudo de Impacte Ambiental do Campo de Golfe da ADT3 da Herdade da Comporta*: Vol. II – Relatório Síntese .
- Öztopal, A., & Şen, Z. (2017). Innovative Trend Methodology Applications to Precipitation Records in Turkey. *Water Resources Management*, 31(3), 727–737. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1343-5>
- Pagès, J. (2004). Analyse factorielle de données mixtes. *Revue de Statistique Appliquée*, 52(4), 93–111.
- Pais, J., Lopes, C. Legoinha, P., Ramalho, E., Ferreira, J., Ribeiro, I.; Amado, A., Sousa, L.; Torres, L.; Baptista, R., & Reis, R. (2003). Sondagem de Belverde (Bacia do Baixo Tejo, península de Setúbal, Portugal). *Ciências da Terra, Vol. Especial V*, CD-Rom, pp. A99-A102, Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica.
- Pais, J. (2004). The neogene of the Lower Tagus Basin (Portugal). *Spanish Journal of Palaeontology*, 19(2), 242. <https://doi.org/10.7203/SJP.19.2.20534>
- Pais, J., Moniz, C., Cabral, J., Cardoso, J. L., Legoinha, P., Machado, S., Morais, M. A., Lourenço, C., Ribeiro, M. L., Henriques, P., & Falé, P. (2006). Notícia Explicativa da Folha 34- D Lisboa. da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000. *Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal*.
- Pais, J., Cunha, P. P., & Legoinha, P. (2010). Litostratigrafia do Cenozóico de Portuga. *Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e Sua História, II(Geologia Aplicada)*, 365–376. <https://run.unl.pt/handle/10362/3357>.
- Pais, J., Kullberg, J. C. R., & Legoinha, P. A. R. R. (2012). *The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal) A Cenozoic Record in the European Atlantic Domain* (1° ed., Vol. 6). Springer Briefs in Earth Sciences.
- Pais, J., Cunha, P., Legoinha, P., Dias, R. P., Pereira, D., & Ramos, A. (2013). III.6. Cenozóico das Bacias do Douro (sector ocidental), Mondego, Baixo Tejo e Alvalade. *Geologia de*

- Portugal Vol. II- Geologia Pré-mesozóica de Portugal*. Eds. Dias, Araújo, Terrinha e Kullberg, Escolar Editora, pp. 673 - 767.
- Pimentel, N. L., & Azevêdo T. M. (1995). Dados para a discussão da génese da Bacia do Tejo-Sado no Paleogénico. *Actas IV Congresso Nacional de Geologia*, 897-902.
- Pimentel, N. L., 1997. *O Terciário da Bacia do Sado. Sedimentologia e análise tectono-sedimentar*. [Dissertação de Doutoramento, Universidade. Lisboa] 381 p.
- Pimentel, N. L., (1998). A Formação de Esbarrondadoiro (Miocénico Superior, Bacia do Sado), sedimentologia e paleogeografia. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 84(1), A.152-A.156.
- Pimentel, N. L. V. (2002). Pedogenic and early diagenetic processes in Palaeogene alluvial fan and lacustrine deposits from the Sado Basin (S Portugal). *Sedimentary Geology*, 148(1-2), 123-138. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00213-5](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00213-5)
- Quental, P. (2011). *Modelos Geológicos Estocásticos 3D e Interface para Modelos de Simulação de Fluxo. Aplicação à Área Subjacente da Antiga Fábrica da SPEL* [Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa].
- Ressurreição, R. (2018). *Evolução tectono-estratigráfica cenozóica do litoral alentejano (sector Melides- Odemira) e enquadramento no regime geodinâmico actual*. [Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciência, Universidade de Lisboa]. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/35915>
- Riaz, M., Tahir, M., & Arslan, M. (2016). Non-parametric versus parametric methods in environmental sciences. *Bulletin of Environmental Studies*, 1(1), 28-30. <https://www.researchgate.net/publication/292330226>
- Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewski, G., Almeida, F. M., Carvalho, D. & Monteiro, J. H. (1979). Introduction à la Géologie Générale du Portugal. *Serviços Geológicos de Portugal*. Lisboa. pp. 114.
- Şen, Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042-1046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556)
- Şen, Z. (2014). Trend Identification Simulation and Application. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 635-642. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000811](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000811)
- Şen, Z. (2017). Innovative trend significance test and applications. *Theoretical and Applied Climatology*, 127, 939-947. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1681-x>
- Shiker, M. A. K. (2012). Multivariate Statistical Analysis Public Policies-New Smart Settings in Public Management View project Transportation Problems View project. *British Journal of Science*, 6(1), 55-77. <https://www.researchgate.net/publication/319808256>
- Shukla, S. (2014). A Review ON K-means DATA Clustering APPROACH. In *International Journal of Information & Computation Technology* (Vol. 4). <http://www.irphouse.com>
- Simões, M. M. (1998). *Contribuição para o Conhecimento Hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo* [Tese de Doutoramento, Universidade NOVA de Lisboa].

- Simões, M., & Legoinha, P. (2014). Unidades hidrostratigráficas no Miocénico da Bacia do Tejo na região de Almada. *Comunicações Geológicas*, 101, Especial II, 717-720 <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185>
- Smoliski, A., Walczak, B., & Einax, J. W. (2002). Hierarchical clustering extended with visual complements of environmental data set. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 64(1), 45–54. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(02\)00049-7](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(02)00049-7)
- Sousa, M. J. F. (2006). *Contribuição para a caracterização geoambiental dos sapais do Estuário do Sado* [Dissertação de Mestrado Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa]. <https://run.unl.pt/handle/10362/1468>
- Trabelsi, R., & Zouari, K. (2019). Coupled geochemical modeling and multivariate statistical analysis approach for the assessment of groundwater quality in irrigated areas: A study from North Eastern of Tunisia. *Groundwater for Sustainable Development*, 8, 413–427. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2019.01.006>
- TARH (2008). *Estudo de Impacte Ambiental do Campo de Golfe da ADT3 da Herdade da Comporta Recursos Hídricos Subterrâneos*. Nota complementar.
- Ward, J. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function, 58:301. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244.
- Weatherill, G., & Burton, P. W. (2009). Delineation of shallow seismic source zones using K-means cluster analysis, with application to the Aegean region. *Geophys. J. Int*, 176, 565–588. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03997.x>
- Žalik, K. R. (2008). An efficient k'-means clustering algorithm. *Pattern Recognition Letters*, 29(9), 1385–1391. <https://doi.org/10.1016/J.PATREC.2008.02.014>
- Zbyszewski, G., Antunes, M. T., & Ferreira, O. D. V. (1976). Notícia explicativa da folha 39-A (Águas de Moura) da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000. *Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa*.
- Zeferino, J. (2016). *Modelação numérica (FEFLOW) e contaminação por intrusão salina do sistema aquífero Mio-Pliocénico do Tejo, na frente ribeirinha do Barreiro* [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa].



## ANEXO A

### A.1 Dados gerais dos furos e poços do SNIRH referentes ao capítulo 4

| CÓDIGO   | NOME          | DISTRITO | CONCELHO  | FREGUESIA             | ALTITUDE (M) | COORD_X (M) | COORD_Y (M) | SISTEMA AQUIFERO                       |
|----------|---------------|----------|-----------|-----------------------|--------------|-------------|-------------|--|
| 420/105  |               | SETÚBAL  | MONTIJO   | CANHA                 | 30           | 154278.7    | 204500.4    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 420/105  |               | SETÚBAL  | MONTIJO   | CANHA                 | 30           | 154278.7    | 204500.4    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 420/12   | CANHA         | SETÚBAL  | MONTIJO   | CANHA                 | 60           | 156971.4    | 199930.2    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 420/8    | 1             | SETÚBAL  | MONTIJO   | CANHA                 | 44           | 152403.4    | 204253.4    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 420/9    | 2             | SETÚBAL  | MONTIJO   | CANHA                 | 44           | 152404.1    | 204254.6    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/1014 | CBR1 (F30)    | SETÚBAL  | MONTIJO   |                       | 17           | 129395      | 191395      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/549  | JK3           | SETÚBAL  | ALCOCHETE | ALCOCHETE             |              | 130280      | 197120      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/68   | JK2           | SETÚBAL  | ALCOCHETE | ALCOCHETE             | 9            | 127596.6    | 197803      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/69   | JK1           | SETÚBAL  | ALCOCHETE | SAMOUÇO               | 11           | 124180      | 194920      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/724  | PS2           | SETÚBAL  | ALCOCHETE | SAMOUÇO               |              | 124200      | 194930      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/73   | TD1           | SETÚBAL  | MONTIJO   | ATALAIA               | 51           | 131160      | 193590      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/740  | PS2           | SETÚBAL  | MONTIJO   | ALTOESTANQUEIROJARDIA |              | 129370      | 191470      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/77   | AC1           | SETÚBAL  | MONTIJO   | ATALAIA               | 52           | 131190      | 193570      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/787  | CBR1          | SETÚBAL  | MONTIJO   | ATALAIA               |              | 131320      | 193850      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/800  | JKp1          | SETÚBAL  | ALCOCHETE | ALCOCHETE             | 11           | 135603.2    | 194088.8    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/855  | PZ5           | SETÚBAL  | ALCOCHETE | ALCOCHETE             | 30           | 133281.5    | 190187.4    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 432/963  | CBR2          | SETÚBAL  | ALCOCHETE | SAMOUÇO               |              | 123946.4    | 194839.57   | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 433/297  | PZ9           | SETÚBAL  | PALMELA   | POCEIRÃO              | 28           | 140560.5    | 192932      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 433/AG50 |               | SETÚBAL  | PALMELA   | POCEIRÃO              | 44           | 145744      | 194794      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 433/AG74 |               | SETÚBAL  | ALCOCHETE | ALCOCHETE             | 35           | 140237      | 197293      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 433/AG76 |               | SETÚBAL  | PALMELA   | POCEIRÃO              | 66           | 149725      | 195039      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 434/280  | Taipadas JKp8 | SETÚBAL  | MONTIJO   | CANHA                 | 74           | 152684      | 199241.8    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 434/306  | FR3           | SETÚBAL  | MONTIJO   | CANHA                 | 78           | 164378.1    | 192605.4    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 434/AG54 |               | SETÚBAL  | MONTIJO   | CANHA                 | 88           | 165002      | 193207      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/241  |               | SETÚBAL  | BARREIRO  | SANTO ANDRÉ           | 10           | 119083.5    | 186173.9    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/334  | PS2           | SETÚBAL  | SEIXAL    | CORROIOS              |              | 111230      | 186170      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/36   | JK14          | SETÚBAL  | SEIXAL    | CORROIOS              | 30           | 112198.2    | 187241      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/412  | AC5           | SETÚBAL  | BARREIRO  | SANTO ANDRÉ           |              | 119880      | 185800      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/453  |               | SETÚBAL  | SEIXAL    |                       | 12           | 109885      | 181021      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/483  | FR6           | SETÚBAL  | SEIXAL    | ALDEIA DE PAIO PIRES  |              | 116460      | 182750      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/484  | PS2           | SETÚBAL  | SEIXAL    | AMORA                 |              | 114070      | 184170      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/485  | PS4           | SETÚBAL  | SEIXAL    | AMORA                 |              | 112060      | 185430      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/487  | JK18          | SETÚBAL  | SEIXAL    | CORROIOS              |              | 110430      | 185420      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/489  | FR9           | SETÚBAL  | ALMADA    | SOBREDA               |              | 109670      | 186530      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/510  | JK21          | SETÚBAL  | SEIXAL    | CORROIOS              |              | 112264      | 187123      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/517  | JK10          | SETÚBAL  | SEIXAL    | ARRENTELA             | 27           | 115618      | 183380      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/518  | FR9           | SETÚBAL  | SEIXAL    | CORROIOS              | 50           | 110120      | 181820      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/523  | FR8           | SETÚBAL  | SEIXAL    | ALDEIA DE PAIO PIRES  | 32           | 116860      | 182780      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/526  | FR10          | SETÚBAL  | SEIXAL    | AMORA                 | 35           | 113500      | 185220      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/528  | JK12          | SETÚBAL  | SEIXAL    | ARRENTELA             | 29.7         | 115182      | 183303      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/536  | AC6           | SETÚBAL  | BARREIRO  | LAVRADIO              | 35.5         | 119820      | 188060      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/537  | JKp4          | SETÚBAL  | SEIXAL    | AMORA                 | 21           | 111722      | 184739.9    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/84   |               | SETÚBAL  | SEIXAL    | CORROIOS              | 20.8         | 110887      | 185501      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 442/94   | AC01          | SETÚBAL  | SEIXAL    | FERNÃO FERRO          | 17           | 115268.1    | 180677.1    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |

| CÓDIGO   | NOME                      | DISTRITO | CONCELHO          | FREGUESIA                               | ALTITUDE (M) | COORD_X (M) | COORD_Y (M) | SISTEMA AQUÍFERO                       |
|----------|---------------------------|----------|-------------------|---|--------------|-------------|-------------|--|
| 443/1118 | PS5                       | SETÚBAL  | MOITA             | ALHOS VEDROS                            |              | 124269      | 184417      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 443/1294 | PS1                       | SETÚBAL  | MOITA             | MOITA                                   |              | 128391      | 186136.03   | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 443/263  | JK3                       | SETÚBAL  | PALMELA           | PINHAL NOVO                             |              | 132250      | 183270      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 443/38   | AC2                       | SETÚBAL  | BARREIRO          | LAVRADIO                                |              | 120160      | 187700      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 443/46   |                           | SETÚBAL  | PALMELA           | PALMELA                                 |              | 131860      | 180060      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 443/48   | JK2                       | SETÚBAL  | MOITA             | VALE DA AMOREIRA                        |              | 121600      | 187300      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 443/733  | PS3 Barra Cheia           | SETÚBAL  | MOITA             | ALHOS VEDROS                            |              | 124410      | 182730      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 443/734  | PS2                       | SETÚBAL  | PALMELA           | QUINTA DO ANJO                          |              | 128950      | 180150      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 443/920  | PS2                       | SETÚBAL  | MOITA             | MOITA                                   |              | 126050      | 188020      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 443/922  | AC2                       | SETÚBAL  | MOITA             | MOITA                                   |              | 128410      | 186140      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 443/924  | JKp7                      | SETÚBAL  | PALMELA           | QUINTA DO ANJO                          | 59           | 127393.1    | 181651.8    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 443/940  | PS4 Brejos                | SETÚBAL  | MOITA             | MOITA                                   |              | 125750      | 183870      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 444/10   | JK1                       | SETÚBAL  | PALMELA           | POCEIRÃO                                |              | 146650      | 185060      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 444/3    | P1                        | SETÚBAL  | PALMELA           | PALMELA                                 | 38           | 140860      | 182080      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 444/314  |                           | SETÚBAL  | PALMELA           | PALMELA                                 | 40           | 147350      | 181610      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 444/316  | PS7                       | SETÚBAL  | PALMELA           | PALMELA                                 |              | 136820      | 181140      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 444/317  | JKp2                      | SETÚBAL  | PALMELA           | POCEIRÃO                                | 44           | 146361.6    | 183790.2    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 444/318  | JKp3                      | SETÚBAL  | PALMELA           | POCEIRÃO                                | 44           | 146440      | 183830      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 444/355  | PZ2                       | SETÚBAL  | PALMELA           | PALMELA                                 | 31           | 137833.6    | 180436.4    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 444/456  | CBR7                      | SETÚBAL  | PALMELA           | PALMELA                                 |              | 147305.99   | 188463.89   | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 444/85   | LAU                       | SETÚBAL  | PALMELA           | PALMELA                                 | 37           | 140865      | 182086.3    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 444/AG71 |                           | SETÚBAL  | PALMELA           | POCEIRÃO                                | 49           | 147761      | 187667      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 445/63   | CBR1                      | SETÚBAL  | MONTIJO           | PEGÕES                                  |              | 158200      | 189450      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 445/7    | 8SH                       | SETÚBAL  | PALMELA           | MARATECA                                | 76           | 156308.9    | 187180      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 445/8    |                           | SETÚBAL  | PALMELA           | MARATECA                                | 65           | 156199      | 187250      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 453/117  | JK13                      | SETÚBAL  | SESIMBRA          | SESIMBRA (CASTELO)                      |              | 113030      | 174280      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 453/18   | JK8                       | SETÚBAL  | SESIMBRA          | QUINTA DO CONDE                         | 70           | 116016.7    | 176494.5    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 453/235  | JK1                       | SETÚBAL  | ALMADA            | CHARNECA DE CAPARICA                    | 64           | 108400      | 179220      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 453/372  | FR13                      | SETÚBAL  | SEIXAL            | FERNÃO FERRO                            |              | 118620      | 177400      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 453/373  | JK16                      | SETÚBAL  | SEIXAL            | AMORA                                   | 20           | 111900      | 184670      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 453/393  | RA1                       | SETÚBAL  | SESIMBRA          | QUINTA DO CONDE                         |              | 116070      | 174750      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 453/394  | PS3                       | SETÚBAL  | SESIMBRA          | QUINTA DO CONDE                         |              | 116500      | 174700      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 453/395  | PS2                       | SETÚBAL  | SESIMBRA          | QUINTA DO CONDE                         | 65           | 120146      | 179382.3    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 453/555  | RA9 Apostiça              | SETÚBAL  | SESIMBRA          | SESIMBRA (CASTELO)                      |              | 112900      | 174250      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 454/146  |                           | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SETÚBAL (SANTA MARIA DA GRAÇA)          | 20           | 134517.5    | 175277.3    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 454/151  |                           | SETÚBAL  | PALMELA           | PALMELA                                 | 149          | 133290      | 179210      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 454/43   | JK4 PINHAL DE NEGREIROS   | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SÃO LOURENÇO                            | 40.8         | 121996      | 177210      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 454/525  | PS1 PINHAL DE NEGREIROS   | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SÃO LOURENÇO                            | 23.4         | 122186      | 177756      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 454/800  | JK14 PINHAL DE NEGREIROS  | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SÃO LOURENÇO                            | 34.1         | 122048      | 177538      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 454/802  | JK12 PERÚ                 | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SÃO LOURENÇO                            | 49.1         | 120673      | 173483      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 454/803  | JK13 QUINTA DO PERÚ       | SETÚBAL  | SESIMBRA          | SESIMBRA (CASTELO)                      | 49.5         | 120632      | 173515      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/10   | S 8                       | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SADO                                    | 3            | 142850      | 170620      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/101  | JK5 POÇO MOURO            | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SETÚBAL (SÃO SEBASTIÃO)                 | 30           | 136532      | 175260      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/216  |                           | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SADO                                    | 8            | 142820      | 170400      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/217  |                           | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SADO                                    | 5            | 142000      | 170560      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/218  |                           | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SETÚBAL (SÃO SEBASTIÃO)                 | 32           | 136230      | 177150      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/252  | JK9 POÇO MOURO            | SETÚBAL  | SETÚBAL           | GÂMBIAPONTESALTO DA GUERRA              | 28.2         | 136837      | 174952      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/388  | JK10 ALGERUZ              | SETÚBAL  | SETÚBAL           | GÂMBIAPONTESALTO DA GUERRA              | 10           | 140390      | 176813      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/390  | PS3 ALGERUZ               | SETÚBAL  | SETÚBAL           | GÂMBIAPONTESALTO DA GUERRA              | 10           | 139724      | 177274      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/391  | JK1 FARALHÃO              | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SADO                                    | 9.5          | 140582      | 173432      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/392  | JK6 POÇO MOURO            | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SETÚBAL (SÃO SEBASTIÃO)                 | 30.3         | 136375      | 174999      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/40   | AC2 SANTAS                | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SETÚBAL (SÃO SEBASTIÃO)                 | 10           | 138008      | 173131      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/408  | PS2 PINHAL DAS ESPANHOLAS | SETÚBAL  | PALMELA           | PALMELA                                 | 20           | 141742      | 178989      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/408  | PS2 PINHAL DAS ESPANHOLAS | SETÚBAL  | PALMELA           | PALMELA                                 | 20           | 141742      | 178989      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/41   | AC1 ALGERUZ               | SETÚBAL  | SETÚBAL           | GÂMBIAPONTESALTO DA GUERRA              | 10           | 139934      | 177028      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/488  | PS3 PINHAL DAS ESPANHOLAS | SETÚBAL  | PALMELA           | PALMELA                                 | 28.2         | 141217      | 179813      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/525  | CBR3FARALHÃO              | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SETÚBAL (SÃO SEBASTIÃO)                 | 21           | 140107.16   | 173312.59   | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/7    | AC1 SANTAS                | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SETÚBAL (SÃO SEBASTIÃO)                 | 10           | 137978      | 173167      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/8    | S 7                       | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SADO                                    | 2            | 143260      | 171080      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/AG1  | CBR1ALGERUZ               | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SETÚBAL                                 |              | 140120      | 177280      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 455/AG2  | CBR2ALGERUZ               | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SETÚBAL                                 |              | 139813      | 176849      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 458/28   |                           | SETÚBAL  | ALCÁCER DO SAL    | ALCÁCER DO SAL (SANTA MARIA DO CASTELO) | 85           | 163617      | 147840      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 466/20   | AR 2 FURO 2               | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SADO                                    | 6            | 142320      | 168050      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 466/21   | AC 1                      | SETÚBAL  | SETÚBAL           | SADO                                    | 3            | 143109.9    | 167620.9    | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 466/42   |                           | SETÚBAL  | ALCÁCER DO SAL    | COMPORATA                               | 8            | 145910      | 160080      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 467/19   |                           | SETÚBAL  | ALCÁCER DO SAL    | ALCÁCER DO SAL (SANTA MARIA DO CASTELO) | 30           | 158878      | 168480      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 475/AG43 |                           | SETÚBAL  | ALCÁCER DO SAL    | COMPORATA                               | 12           | 145620      | 159137      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 475/AG45 |                           | SETÚBAL  | ALCÁCER DO SAL    | COMPORATA                               | 9            | 143520      | 153881      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 476/14   | PS1 AMEIRA                | SETÚBAL  | ALCÁCER DO SAL    | ALCÁCER DO SAL (SANTA MARIA DO CASTELO) | 5.72         | 164994      | 157200      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 476/19   | RA1Ameira                 | SETÚBAL  | ALCÁCER DO SAL    | ALCÁCER DO SAL (SANTA MARIA DO CASTELO) | 27           | 166255      | 159011      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 476/20   | RA3Valverde               | SETÚBAL  | ALCÁCER DO SAL    | ALCÁCER DO SAL                          | 94           | 164631      | 150079      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 476/21   | RA4Cachopos               | SETÚBAL  | ALCÁCER DO SAL    | ALCÁCER DO SAL                          | 10           | 154145      | 158578      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 484/8    | RA5Carvalho               | SETÚBAL  | GRÂNDOLA          | GRÂNDOLA                                | 20           | 146796      | 149281      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 485/10   | BORBOLEGÃO PS2            | SETÚBAL  | GRÂNDOLA          | GRÂNDOLA                                | 67.04        | 163564      | 141983      | T3 BACIA DO TEJOSADO / MARGEM ESQUERDA |
| 486/37   | RA2-Parchanas             | SETÚBAL  | ALCÁCER DO SAL    | ALCÁCER DO SAL                          | 24           | 177070      | 146070      | T0 - BACIA DO TEJO-SADO INDIFERENCIADO |
| 518/30   | RA2                       | SETÚBAL  | SANTIAGO DO CACÉM | ALVALADE                                | 44           | 177534      | 113044      | T6 - BACIA DE ALVALADE                 |
| 516/80   | PZ2                       | SETÚBAL  | SANTIAGO DO CACÉM | SANTIAGO DO CACÉM                       | 64.86        | 144092      | 116472      | O32 - SINES                            |
| 519/300  |                           | SETÚBAL  | SANTIAGO DO CACÉM | SANTIAGO DO CACÉM                       | 75           | 190316      | 118020      | T6 - BACIA DE ALVALADE                 |
| 528/16   | RA1                       | SETÚBAL  | SANTIAGO DO CACÉM | ALVALADE                                | 51           | 175435      | 105702      | T6 - BACIA DE ALVALADE                 |



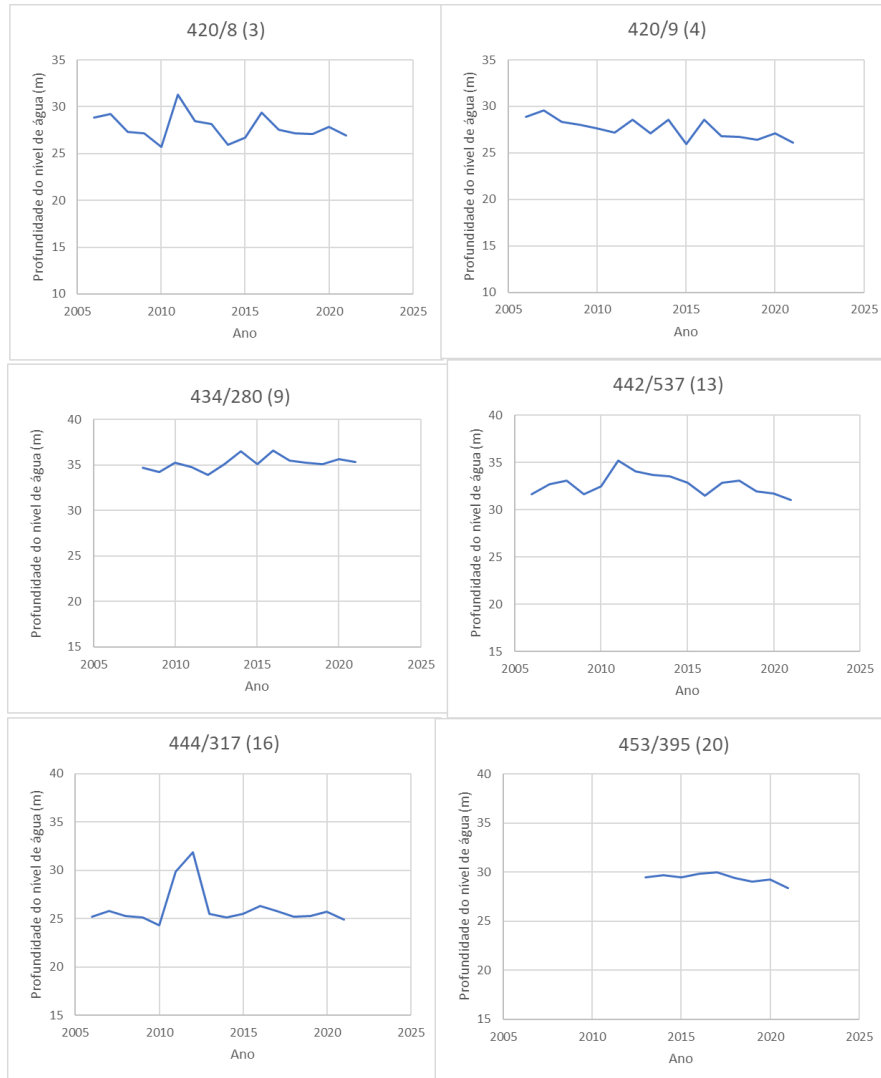
## A.2 Gráficos da distribuição das profundidades ao longo dos anos (K-means e HCPC)

Para 6 clusters

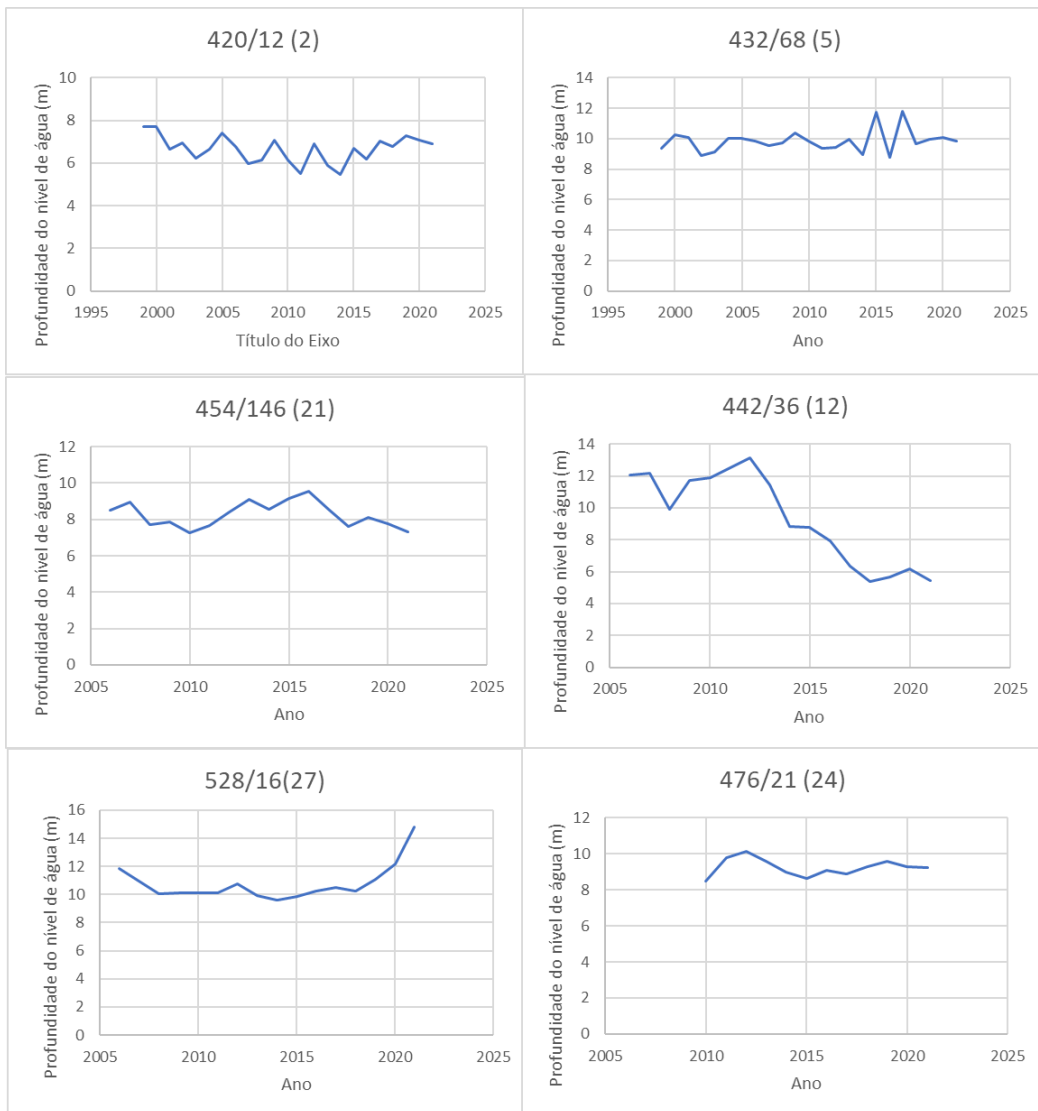
Cluster 1



## Cluster 2



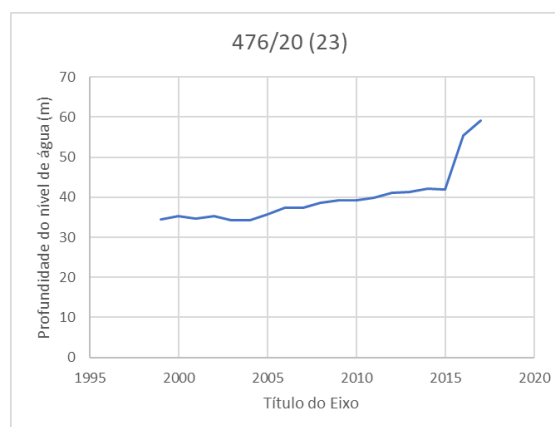
### Cluster 3



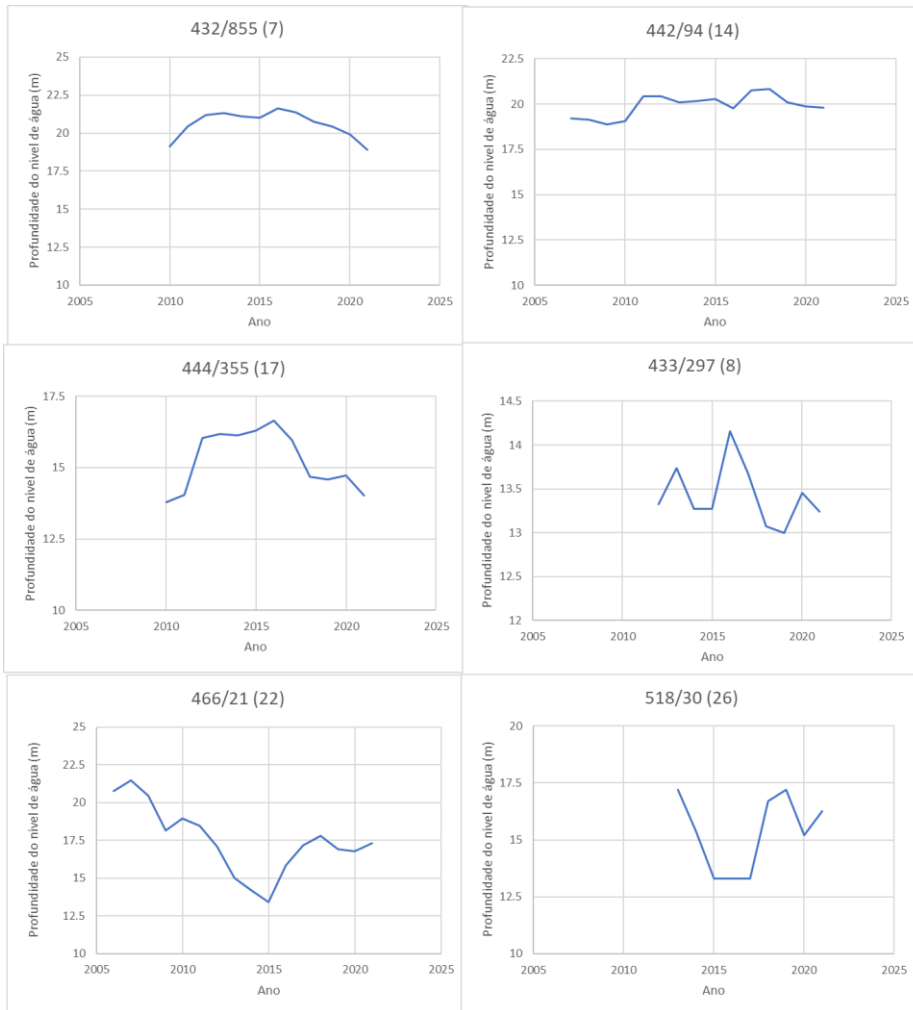
## Cluster 4



## Cluster 5

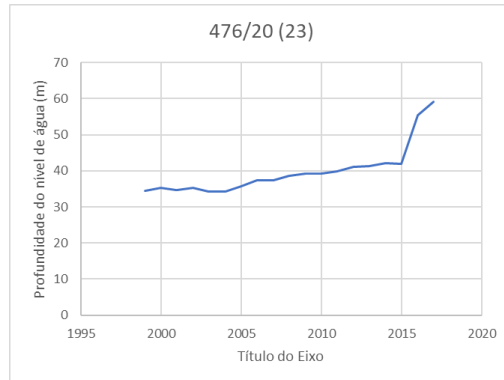


## Cluster 6

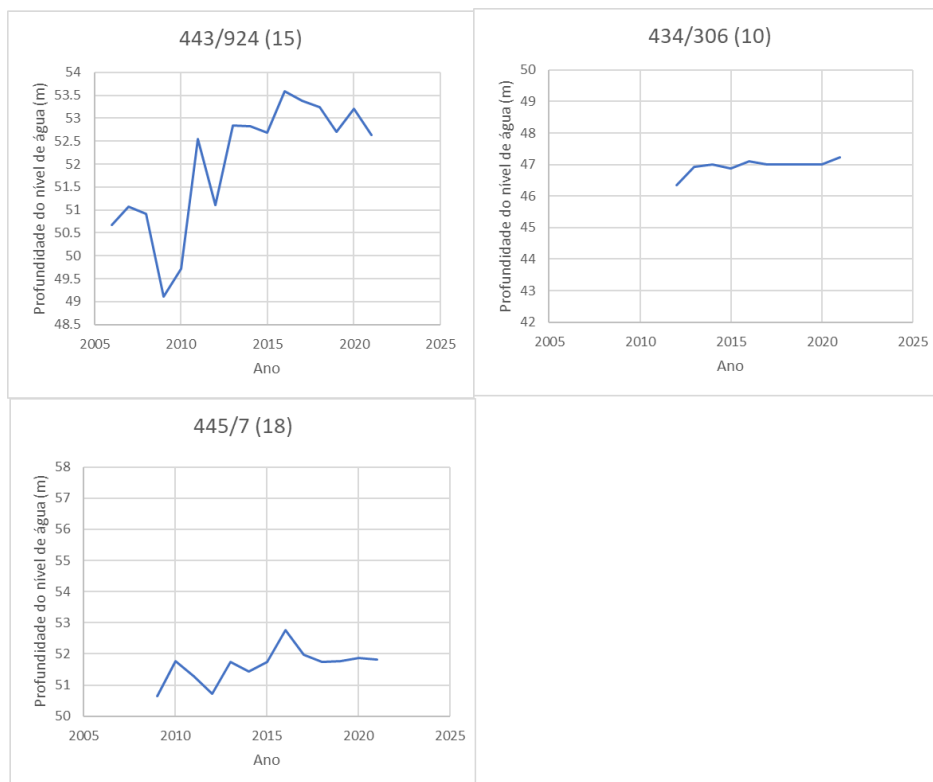


## Para 10 clusters

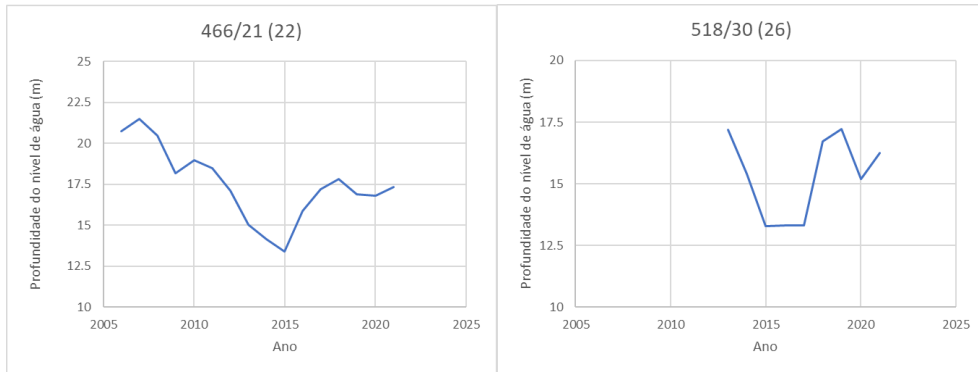
### Cluster 1



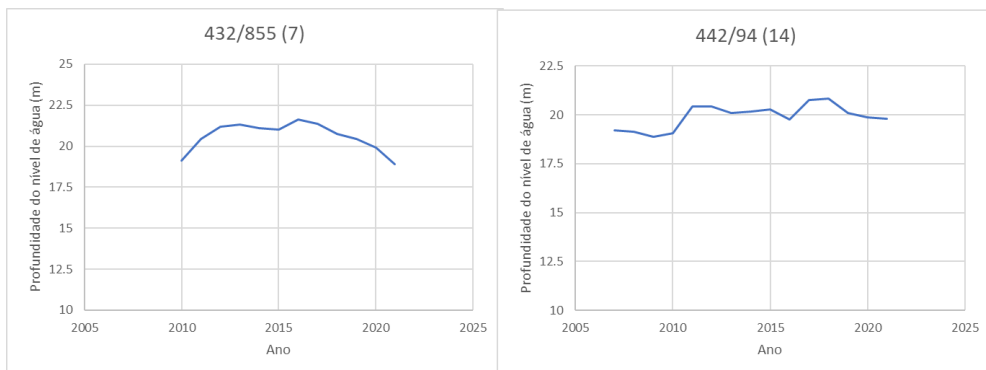
### Cluster 2



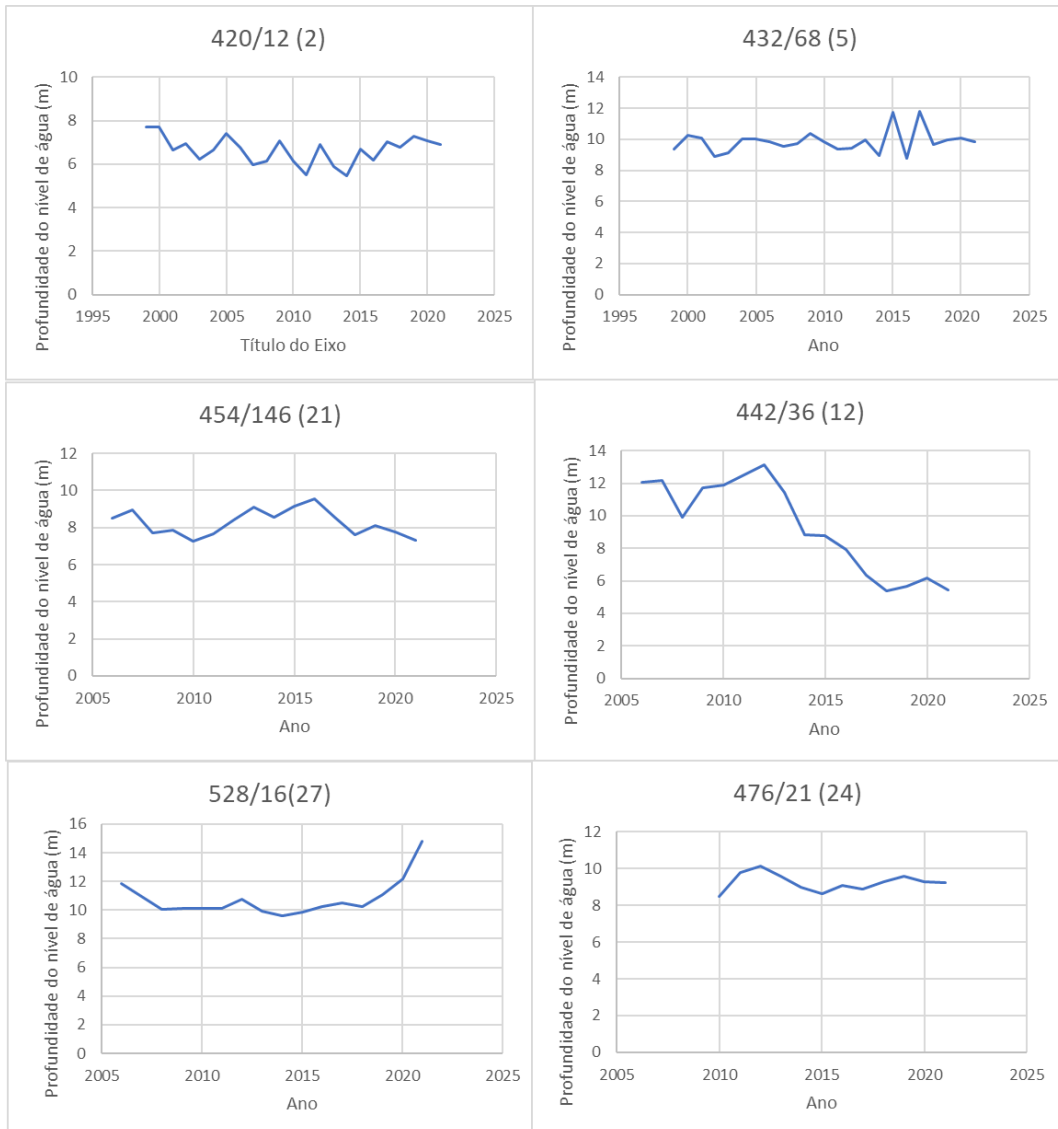
### Cluster 3



### Cluster 4

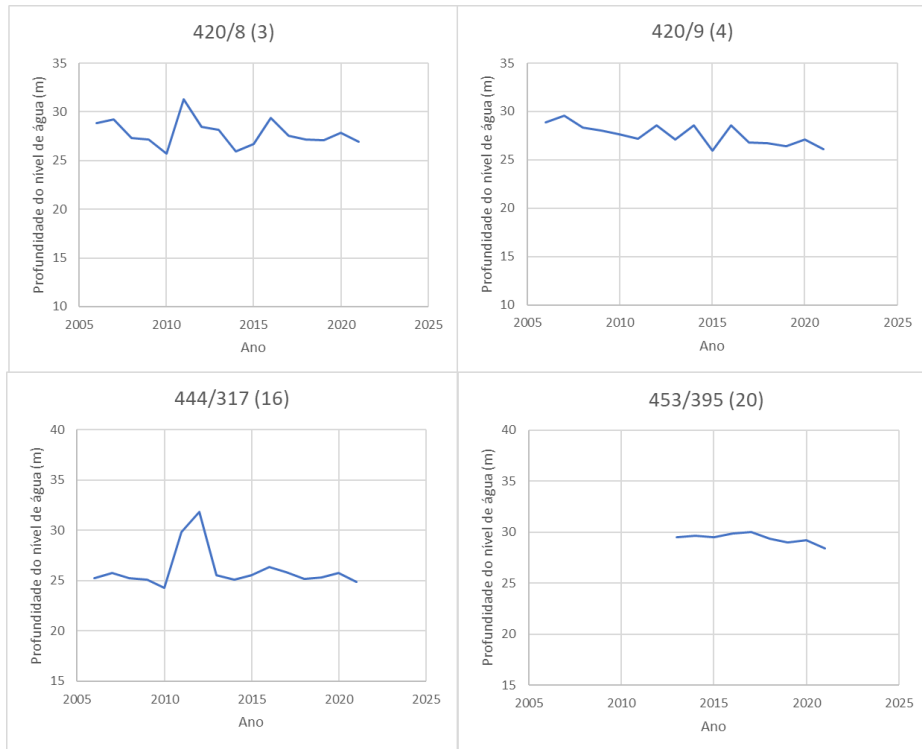


## Cluster 5

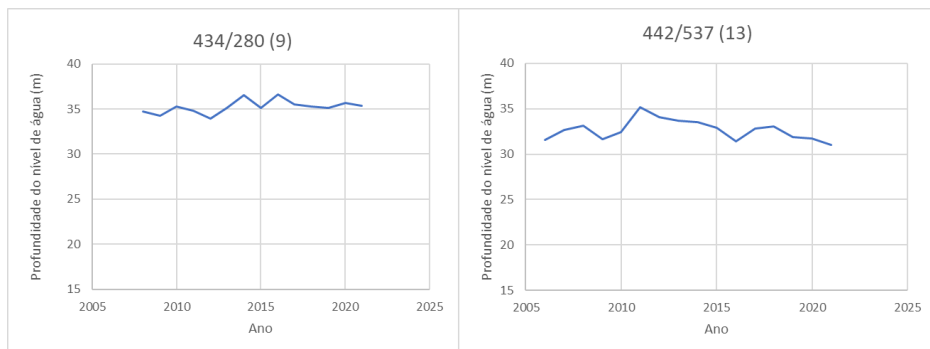




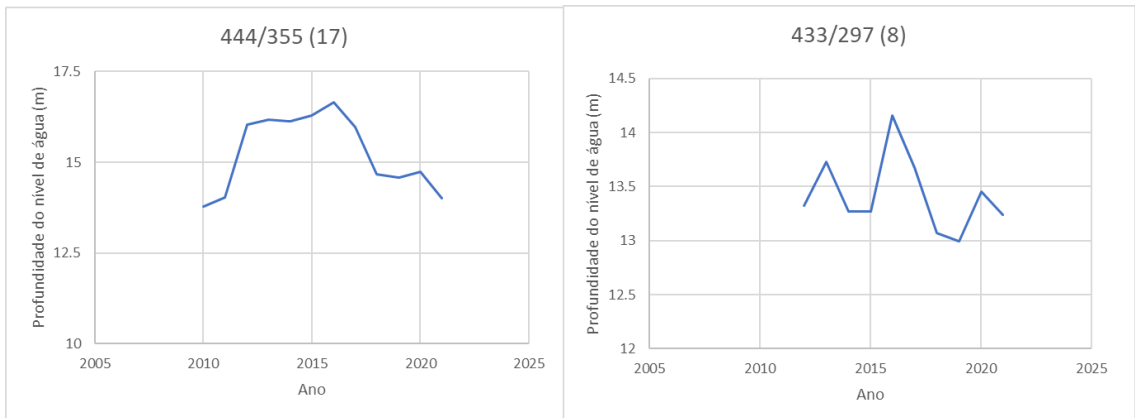
## Cluster 6



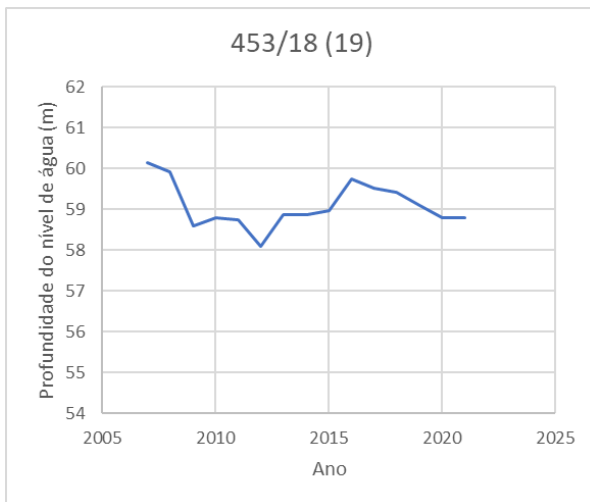
## Cluster 7



## Cluster 8



## Cluster 9



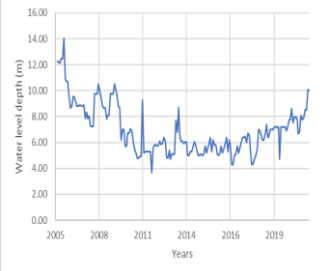
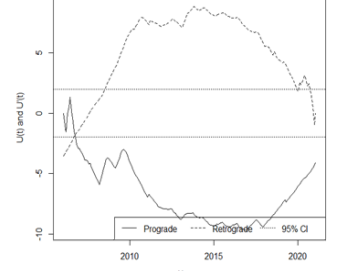
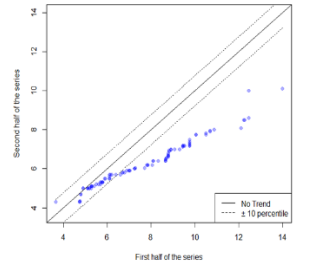
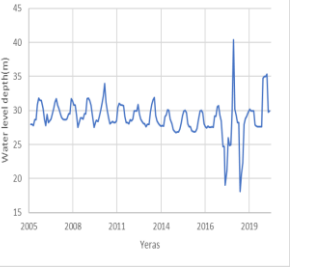
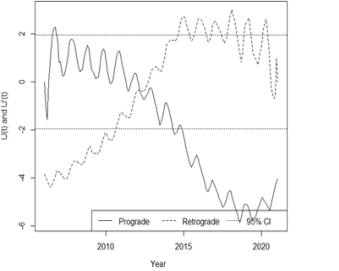
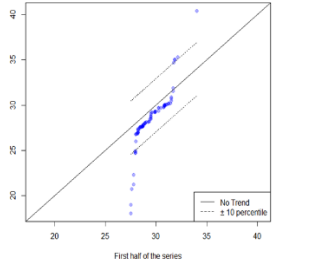
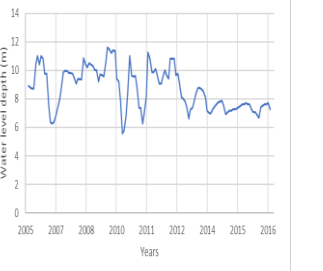
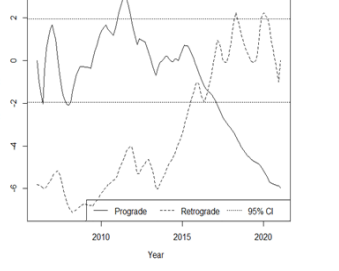
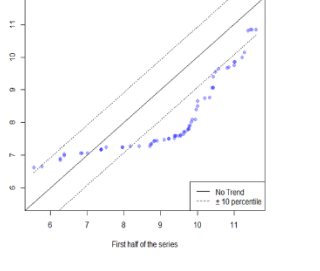
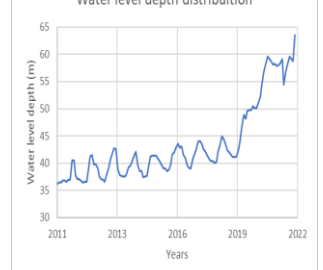

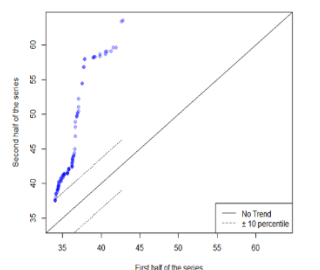
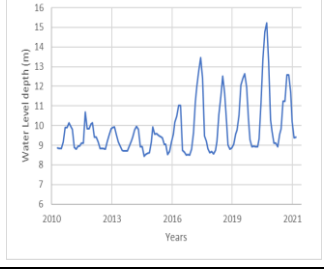
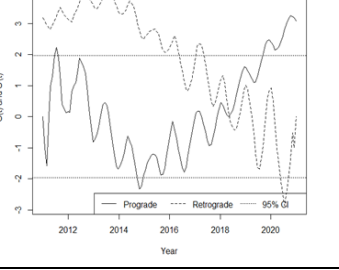
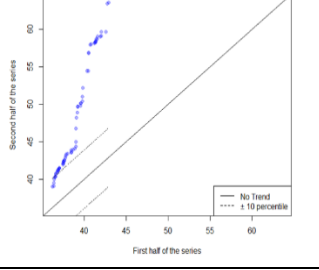
## Cluster 10

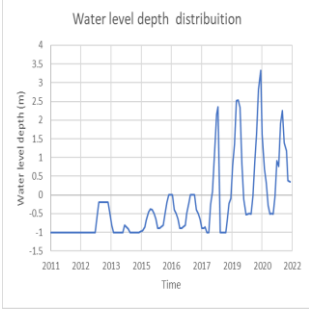
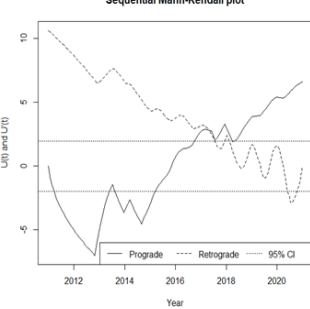
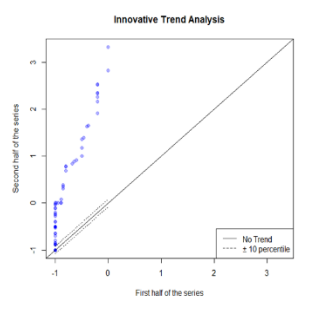
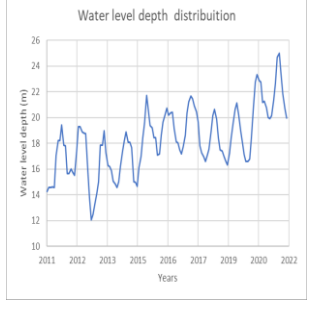
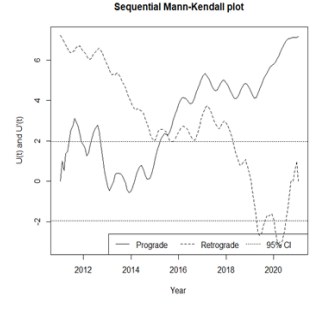
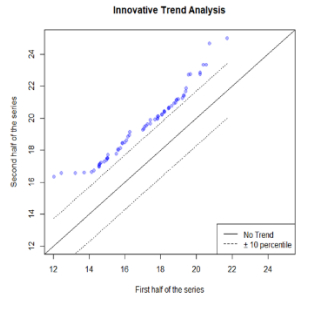
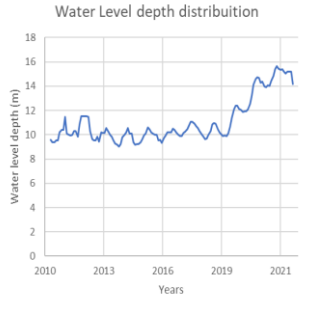
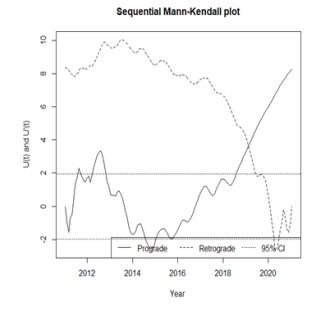
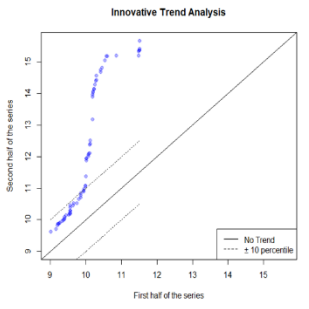


## A.3 Gráficos do Innovative trend e da análise Mann-Kendall

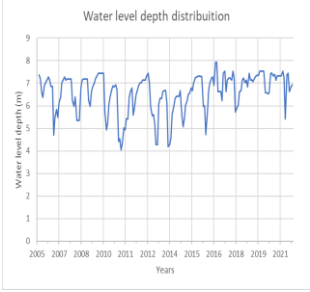
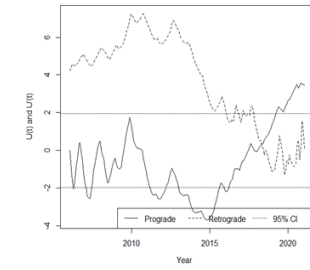
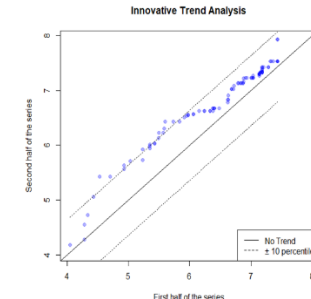
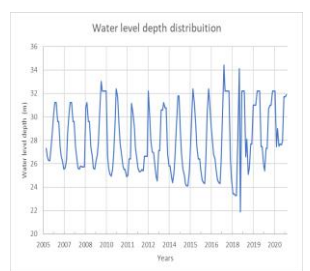
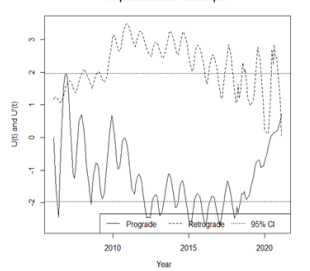
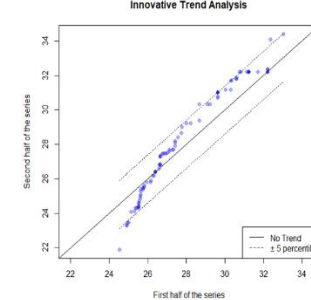
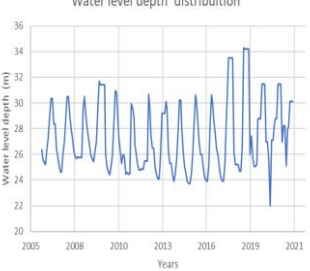
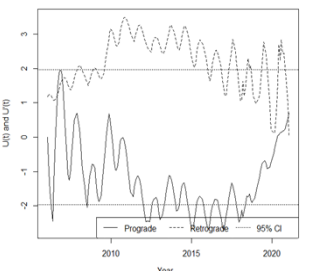
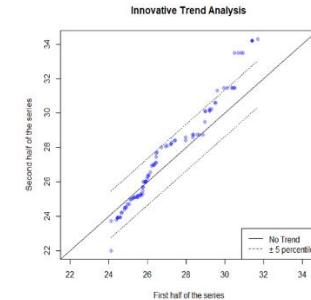
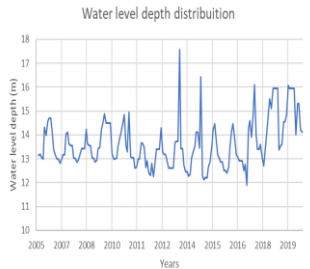
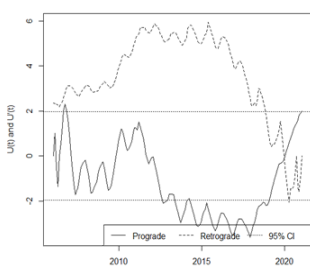
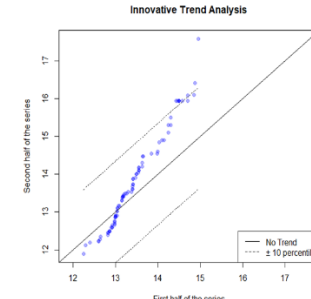
Com anomalia

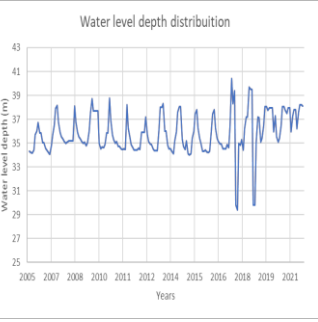
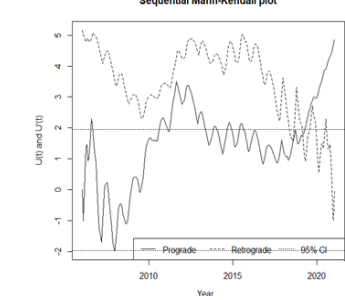
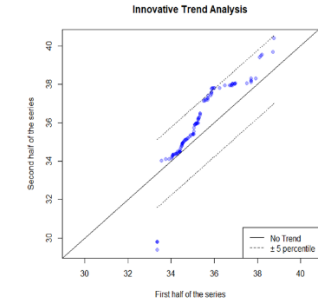
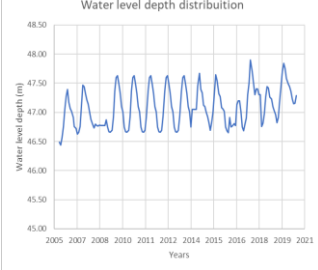
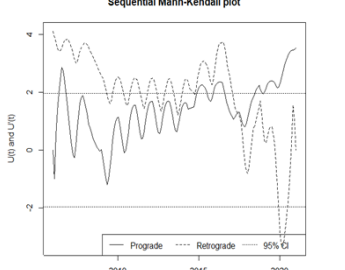
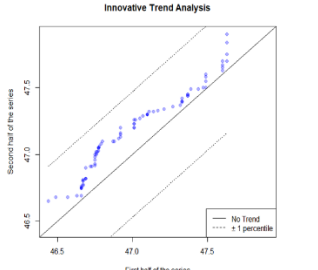
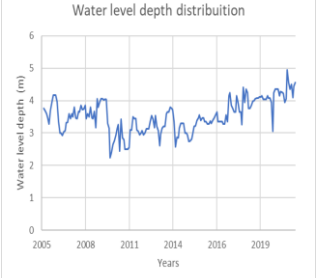
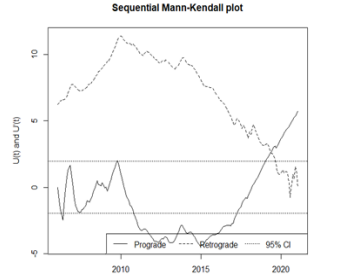
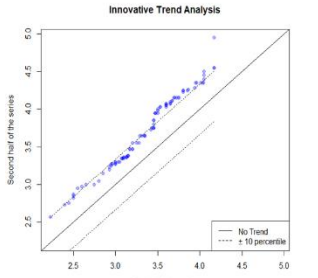
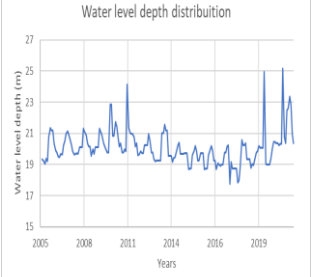
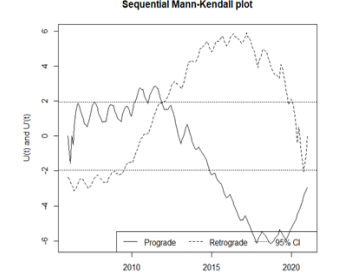
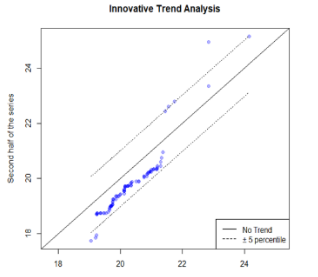
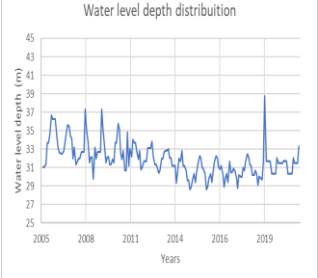
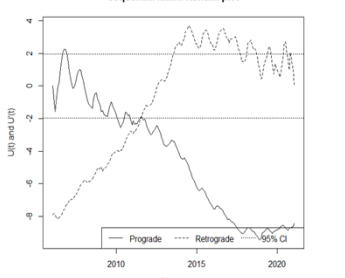
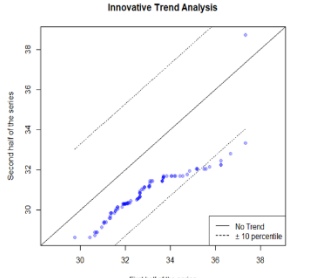
| Nº Furo | Distribuição | <i>Sequential Mann-Kendall</i> | <i>Innovative Trend</i> |
|---------|--------------|--------------------------------|-------------------------|
| 420/105 |              |                                |                         |
| 432/68  |              |                                |                         |
| 432/800 |              |                                |                         |
| 432/855 |              |                                |                         |

| Nº Furo | Distribuição  | <i>Sequential Mann-Kendall</i>   | <i>Innovative Trend</i>  |
|---------|---|--|--|
| 442/36  | <p>Water level depth distribution</p>    | <p>Sequential Mann-Kendall plot</p>    | <p>Innovative Trend Analysis</p>    |
| 453/395 | <p>Water level depth distribution</p>    | <p>Sequential Mann-Kendall plot</p>    | <p>Innovative Trend Analysis</p>    |
| 454/151 | <p>Water level depth distribution</p>   | <p>Sequential Mann-Kendall plot</p>   | <p>Innovative Trend Analysis</p>   |
| 476/20  | <p>Water level depth distribution</p>  | <p>Sequential Mann-Kendall plot</p>  | <p>Innovative Trend Analysis</p>  |
| 476/21  | <p>Water Level depth distribution</p>  | <p>Sequential Mann-Kendall plot</p>  | <p>Innovative Trend Analysis</p>  |

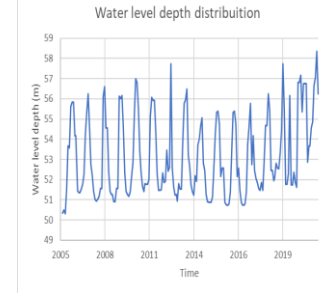
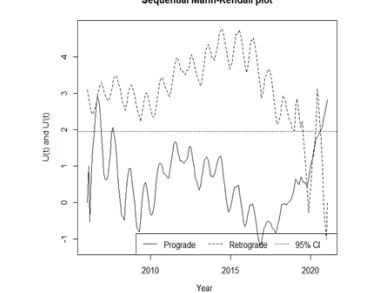
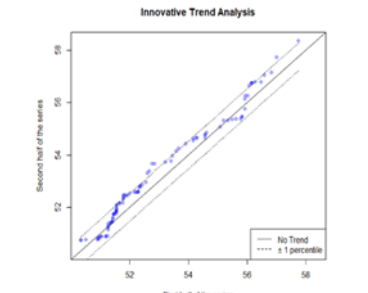
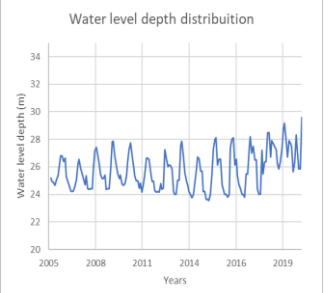
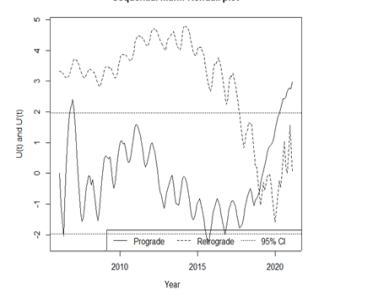
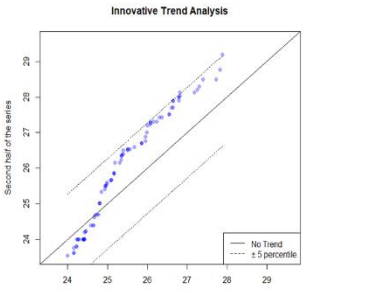
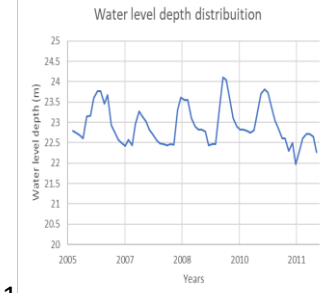
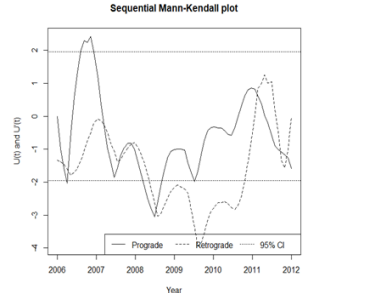
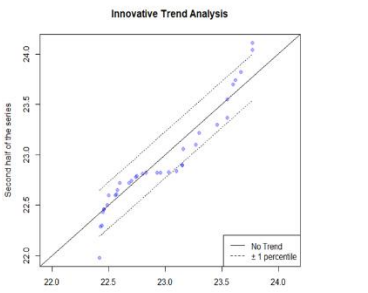
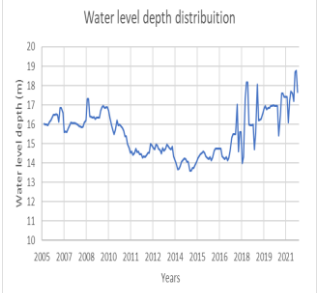
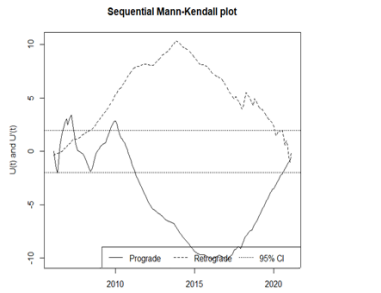
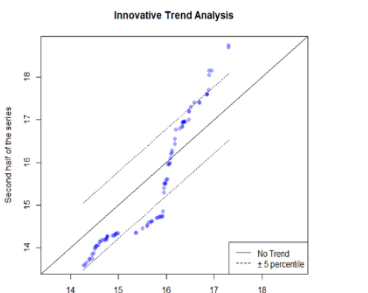
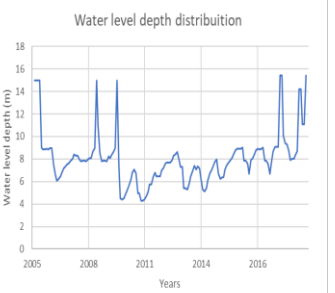
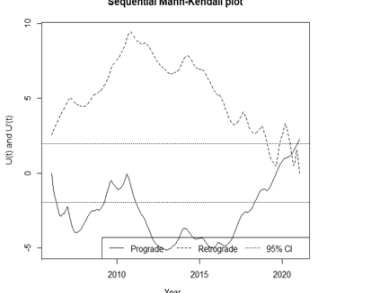
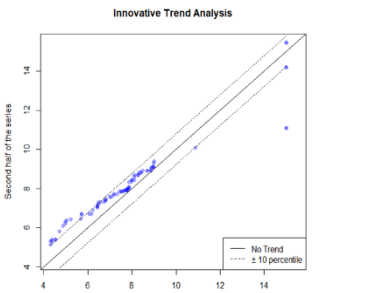
| Nº Furo | Distribuição  | <i>Sequential Mann-Kendell</i>   | <i>Innovative Trend</i>  |
|---------|---|--|--|
| 484/8   |  <p>Water level depth distribution</p>   |  <p>Sequential Mann-Kendell plot</p>   |  <p>Innovative Trend Analysis</p>   |
| 518/30  |  <p>Water level depth distribution</p>  |  <p>Sequential Mann-Kendell plot</p>  |  <p>Innovative Trend Analysis</p>  |
| 528/16  |  <p>Water Level depth distribution</p> |  <p>Sequential Mann-Kendell plot</p> |  <p>Innovative Trend Analysis</p> |

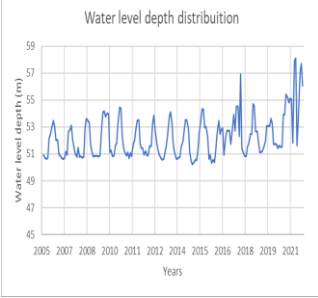
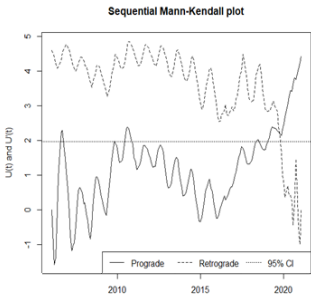
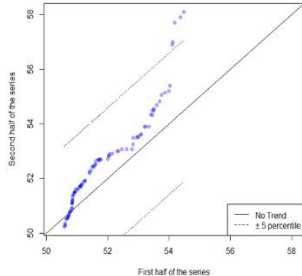
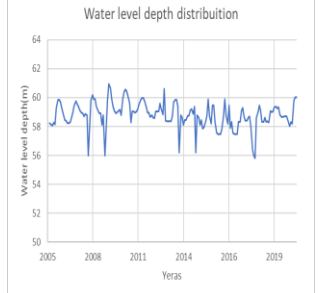
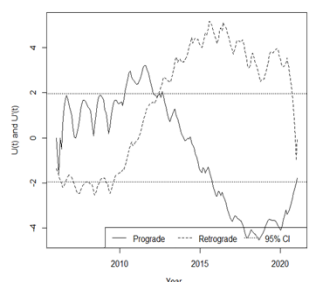
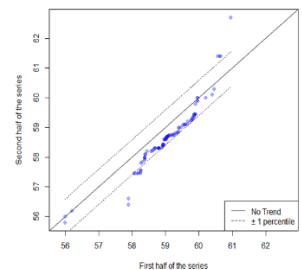
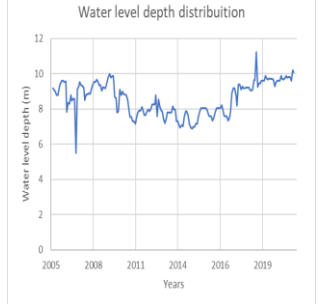
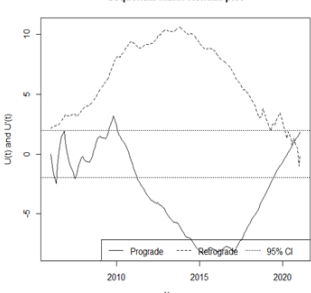
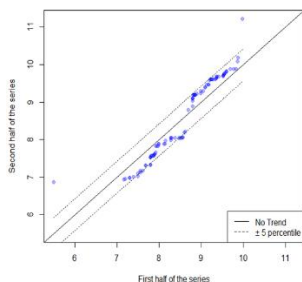
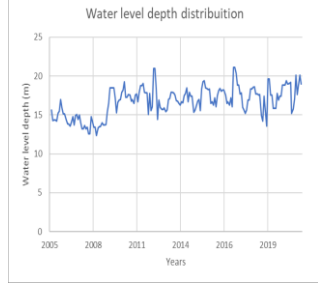
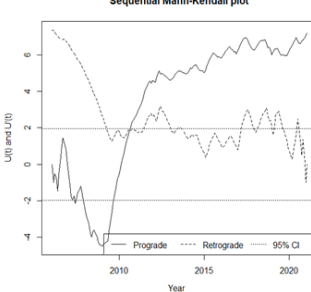
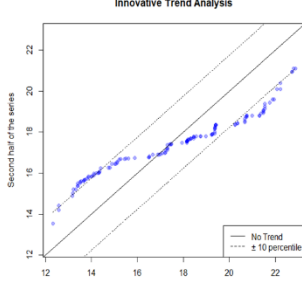
Sem anomalias

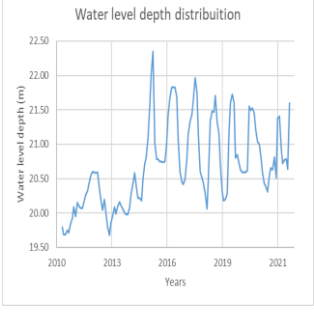
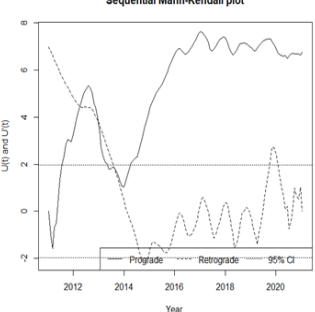
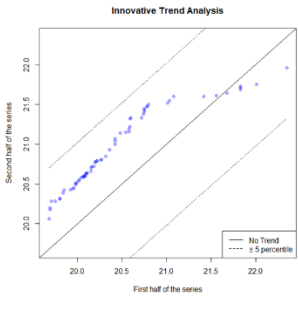
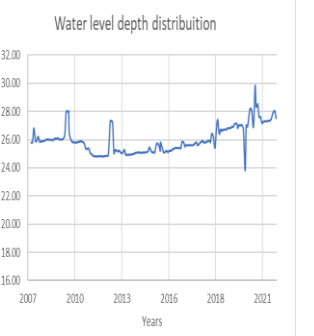
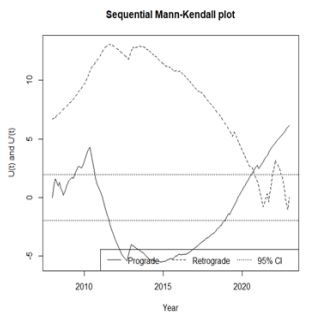
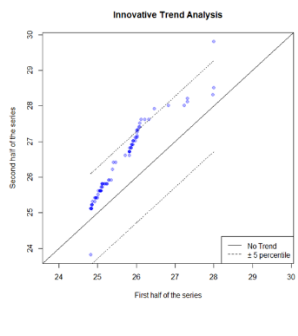
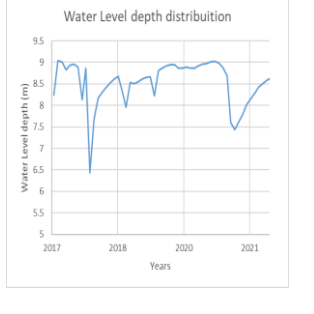
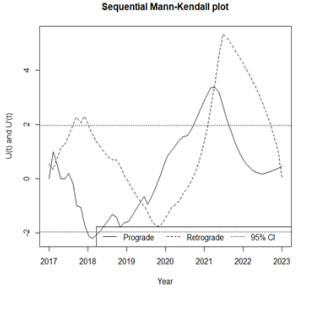
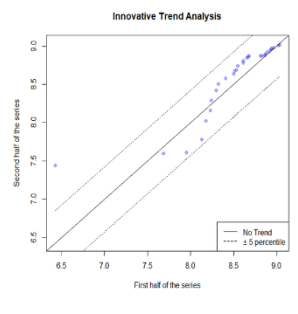
| Nº Furo | Distribuição  | <i>Sequential Mann-Kendell</i>   | <i>Innovative Trend</i>   |
|---------|---|--|---|
| 420/12  |    |    |    |
| 420/8   |   |   |   |
| 420/9   |  |  |  |
| 433/297 |  |  |  |

| Nº Furo | Distribuição  | <i>Sequential Mann-Kendell</i>   | <i>Innovative Trend</i>   |
|---------|---|--|---|
| 434/280 |    |    |    |
| 434/306 |    |    |    |
| 442/241 |  |  |  |
| 442/94  |  |  |  |
| 442/537 |  |  |  |



| Nº Furo | Distribuição  | <i>Sequential Mann-Kendell</i>   | <i>Innovative Trend</i>   |
|---------|---|--|---|
| 443/924 |    |    |    |
| 444/317 |    |    |    |
| 444/318 |  |  |  |
| 444/355 |  |  |  |
| 444/85  |  |  |  |

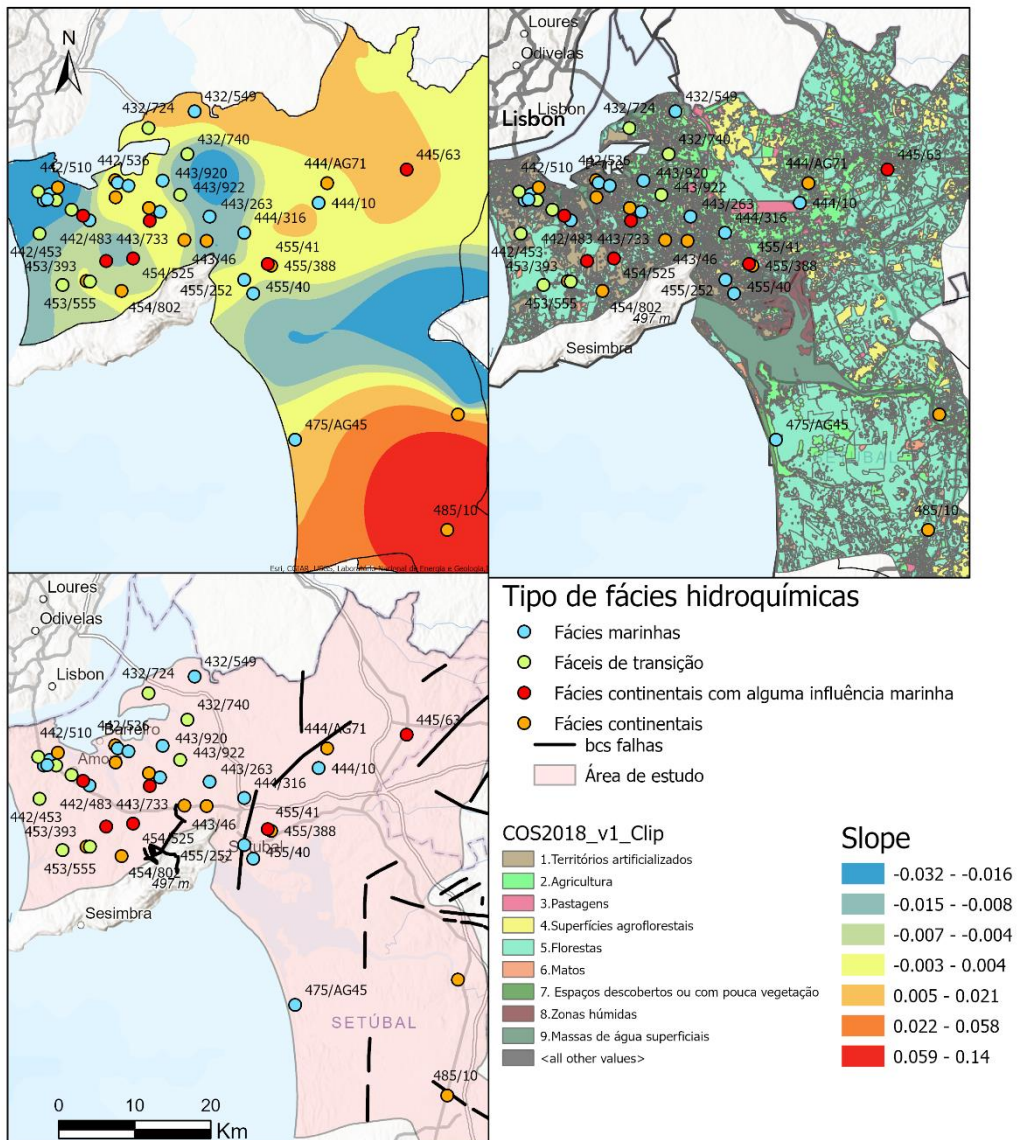
| Nº Furo | Distribuição  | <i>Sequential Mann-Kendell</i>   | <i>Innovative Trend</i>   |
|---------|---|--|---|
| 445/7   |    |    |    |
| 453/18  |   |   |   |
| 454/146 |  |  |  |
| 466/21  |  |  |  |

| Nº Furo | Distribuição  | <i>Sequential Mann-Kendell</i>   | <i>Innovative Trend</i>   |
|---------|---|--|---|
| 486/37  |    |    |    |
| 516/80  |   |   |   |
| 519/300 |  |  |  |

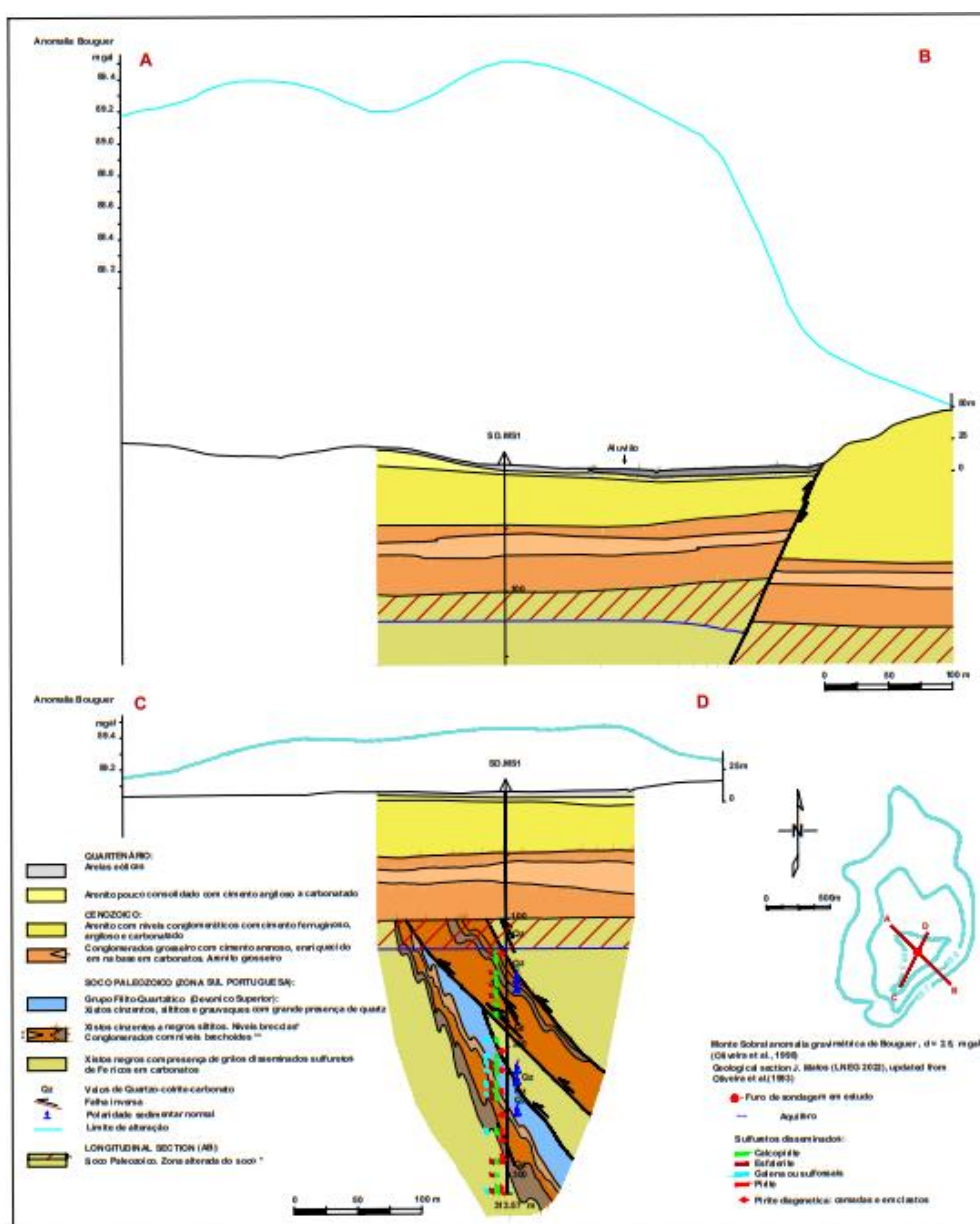
## A.4 Elementos Químicos

| CODIGO   | HCO3 | Cl  | SO4 | Ca | K  | Na | K+Na | Mg | NO3   |
|----------|------|-----|-----|----|----|----|------|----|-------|
| 420/105  | 0    | 38  | 10  | 14 | 0  | 0  | 0    | 7  | 9.3   |
| 432/549  | 67   | 76  | 18  | 11 | 3  | 62 | 65   | 7  | 14    |
| 432/724  | 175  | 38  | 9   | 41 | 3  | 33 | 36   | 11 | 0.6   |
| 432/740  | 221  | 39  | 12  | 57 | 2  | 32 | 34   | 9  | 1.8   |
| 432/787  | 180  | 119 | 0   | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 0.7   |
| 433/AG50 | 0    | 50  | 30  | 53 | 0  | 0  | 0    | 21 | 102.8 |
| 433/AG74 | 0    | 45  | 7   | 7  | 0  | 0  | 0    | 6  | 11.4  |
| 433/AG76 | 0    | 199 | 54  | 41 | 0  | 0  | 0    | 23 | 50.1  |
| 434/AG54 | 0    | 23  | 7   | 6  | 0  | 0  | 0    | 5  | 26    |
| 442/334  | 52   | 74  | 24  | 35 | 5  | 47 | 53   | 12 | 31.1  |
| 442/412  | 124  | 30  | 8   | 25 | 3  | 24 | 27   | 6  | 1.5   |
| 442/453  | 133  | 75  | 10  | 51 | 4  | 40 | 44   | 8  | 8.6   |
| 442/483  | 26   | 51  | 8   | 12 | 4  | 37 | 41   | 9  | 10.6  |
| 442/484  | 99   | 50  | 8   | 31 | 3  | 26 | 29   | 5  | 5     |
| 442/485  | 135  | 52  | 14  | 51 | 4  | 35 | 39   | 7  | 8.3   |
| 442/487  | 57   | 100 | 40  | 26 | 6  | 57 | 63   | 16 | 51.5  |
| 442/489  | 154  | 110 | 73  | 44 | 8  | 67 | 74   | 34 | 43.2  |
| 442/510  | 251  | 50  | 21  | 60 | 3  | 41 | 44   | 15 | 3.3   |
| 442/517  | 114  | 44  | 11  | 29 | 3  | 31 | 34   | 7  | 5.6   |
| 442/536  | 191  | 42  | 8   | 48 | 3  | 28 | 31   | 11 | 2.1   |
| 442/84   | 68   | 83  | 31  | 19 | 5  | 69 | 75   | 11 | 31.3  |
| 443/263  | 21   | 33  | 6   | 6  | 4  | 26 | 30   | 4  | 31.7  |
| 443/38   | 69   | 166 | 23  | 34 | 5  | 83 | 88   | 12 | 9.7   |
| 443/46   | 305  | 90  | 35  | 0  | 20 | 0  | 20   | 31 | 0     |
| 443/48   | 17   | 38  | 7   | 8  | 3  | 22 | 25   | 4  | 3.3   |
| 443/733  | 36   | 21  | 6   | 9  | 3  | 14 | 17   | 2  | 2.7   |
| 443/734  | 81   | 24  | 3   | 0  | 0  | 5  | 5    |    | 4.6   |
| 443/920  | 43   | 59  | 11  | 11 | 4  | 36 | 39   | 7  | 5.1   |
| 443/922  | 101  | 42  | 13  | 38 | 4  | 38 | 42   | 5  | 11.2  |
| 443/940  | 17   | 61  | 17  | 14 | 3  | 24 | 27   | 6  | 37.4  |
| 443/1118 | 0    | 16  | 7   | 7  | 0  | 0  | 0    | 2  | 2.2   |
| 444/10   | 16   | 41  | 6   | 5  | 5  | 23 | 28   | 4  | 6.5   |
| 444/316  | 17   | 16  | 6   | 4  | 3  | 14 | 17   | 1  | 4.6   |
| 444/AG71 | 0    | 0   | 7   | 13 | 0  | 0  | 0    | 11 | 73.1  |
| 445/63   | 137  | 57  | 8   | 20 | 3  | 31 | 33   | 9  | 1.5   |
| 453/117  | 309  | 51  | 18  | 38 | 3  | 37 | 40   | 40 | 0.6   |
| 453/372  | 57   | 31  | 6   | 16 | 3  | 21 | 23   | 5  | 3.9   |
| 453/393  | 72   | 32  | 7   | 31 | 0  | 0  | 0    | 3  | 4.1   |
| 453/394  | 91   | 30  | 6   | 29 | 2  | 20 | 22   | 5  | 6.8   |
| 453/555  | 307  | 45  | 14  | 72 | 3  | 37 | 40   | 16 | 0.7   |
| 454/525  | 81   | 32  | 12  | 20 | 3  | 24 | 27   | 6  | 4.3   |
| 454/802  | 269  | 40  | 19  | 78 | 2  | 27 | 28   | 15 | 0     |
| 455/252  | 19   | 35  | 6   | 7  | 5  | 20 | 24   | 4  | 10.8  |
| 455/388  | 140  | 25  | 3   | 12 | 0  | 7  | 7    | 0  | 4     |
| 455/40   | 19   | 31  | 6   | 5  | 4  | 20 | 25   | 3  | 10.9  |
| 455/41   | 143  | 24  | 11  | 24 | 3  | 35 | 37   | 7  | 0.7   |
| 475/AG43 | 0    | 19  | 7   | 0  | 0  | 0  | 0    | 0  | 4.6   |
| 475/AG45 | 0    | 50  | 10  | 9  | 2  | 18 | 20   | 3  | 6.5   |
| 476/14   | 200  | 63  | 12  | 59 | 2  | 24 | 26   | 14 | 14.5  |
| 485/10   | 101  | 35  | 1   | 11 | 0  | 6  | 6    | 5  | 5     |

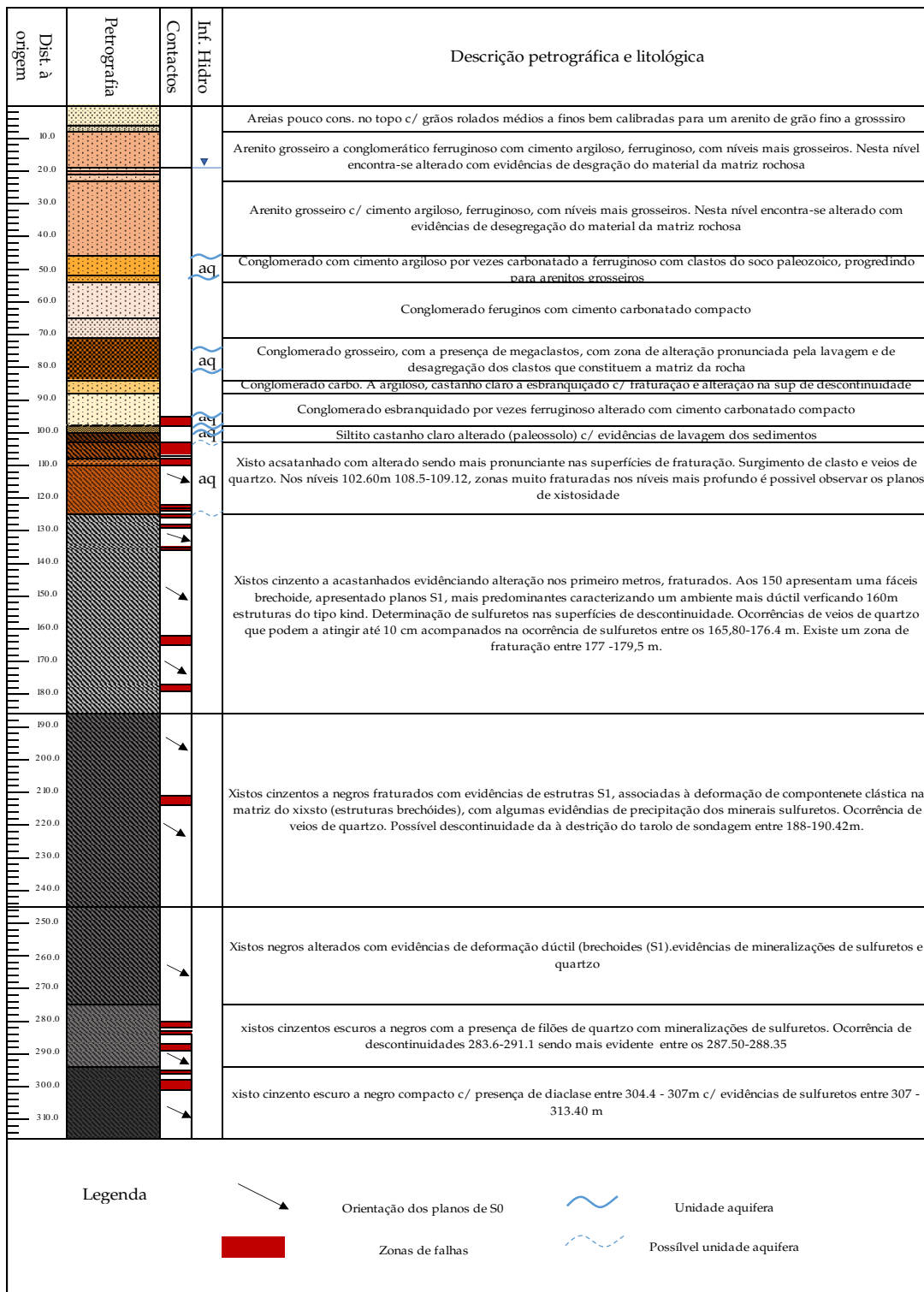
## A.5 Interligação entre as fácies e os parâmetros: slope; Carte ocupação dos solos (COS2018\_V1) e as zonas de falha



### B.1 Localização do furo vertical SD.MS1



## B.2 Ficha do Log de sondagem SD.MS1





### B.3 Tabela com os pontos fictícios

| Número | X           | Y           | Z      | Topo do Pliocénico | Topo do Miocénico |
|--------|-------------|-------------|--------|--------------------|-------------------|
| 1      | 139220.00   | 179630.00   | 20.23  | -76.79             | -153.74           |
| 2      | 139484.62   | 178665.65   | 17.00  |                    | -134.49           |
| 3      | 140544.32   | 174808.57   | 5.67   | -85.53             | -158.33           |
| 4      | 141737.48   | 170469.63   | 7.00   | -60.79             | -163.00           |
| 5      | 142002.62   | 169505.43   | 8.62   | -12.72             | -171.39           |
| 6      | 144521.51   | 160345.45   | 6.00   | -21.10             | -99.47            |
| 7      | 145530.59   | 156675.91   | 18.99  |                    | -50.75            |
| 8      | 157430.08   | 179992.38   | 24.00  |                    |                   |
| 9      | 157437.12   | 178492.40   | 41.96  |                    |                   |
| 10     | 157448.8541 | 175992.4232 | 70.62  |                    | -53.37            |
| 11     | 157453.55   | 174992.43   | 81.84  |                    | -12.82            |
| 12     | 157469.98   | 171492.47   | 111.28 |                    |                   |
| 13     | 157481.72   | 168992.50   | 62.27  |                    | 52.06             |
| 14     | 157484.06   | 168492.51   | 56.84  | 53.87              | 31.24             |
| 15     | 157500.49   | 164992.54   | 9.69   | -0.07              | -24.59            |
| 16     | 157523.97   | 159992.60   | 6.00   | 0.00               | -56.76            |
| 17     | 157546.34   | 155225.76   | 42.23  | 24.01              | -56.02            |
| 18     | 136237.29   | 175000.01   | 35.02  | -29.39             | -115.91           |
| 19     | 137737.26   | 174989.57   | 34.81  | -37.94             | -132.20           |
| 20     | 138737.23   | 174982.61   | 22.93  | -18.00             | -100.03           |
| 21     | 141237.17   | 174965.22   | 5.00   | -25.31             | -94.09            |
| 22     | 147737.02   | 174919.99   | 11.12  |                    | -120.40           |
| 23     | 151236.93   | 174895.64   | 28.49  |                    | -109.22           |
| 24     | 156236.81   | 174860.85   | 67.12  |                    | -92.42            |
| 25     | 161236.69   | 174826.06   | 75.55  |                    | -56.84            |
| 26     | 166236.57   | 174791.27   | 84.20  |                    | 0.97              |
| 27     | 168003.96   | 174778.97   | 63.64  |                    | 27.14             |
| 28     | 136905.89   | 172565.93   | 12.92  | -43.47             | -87.86            |
| 29     | 137762.52   | 172050.00   | 7.11   | -47.19             | -108.67           |
| 30     | 138619.15   | 171534.07   | 8.99   | -42.34             | -104.26           |
| 31     | 139975.66   | 170717.07   | 11.96  | -66.61             | -124.13           |
| 32     | 143475.64   | 170705.92   | 5.00   | -96.62             | -143.96           |
| 33     | 148863.53   | 170653.50   | 15.00  | -62.27             | -127.39           |
| 34     | 149860.81   | 170579.81   | 12.61  | -34.75             | -108.10           |
| 35     | 154348.57   | 170248.22   | 82.29  | 67.40              | 47.66             |
| 36     | 158836.34   | 169879.79   | 65.80  |                    | 23.97             |
| 37     | 161329.54   | 169732.42   | 43.02  |                    | 26.68             |
| 38     | 162326.83   | 169658.73   | 18.33  |                    |                   |
| 39     | 169511.36   | 169511.36   | 76.38  |                    |                   |
| 40     | 167200.41   | 169298.64   | 76.88  |                    |                   |
| 41     | 168103.04   | 164311.99   | 58.14  |                    |                   |
| 42     | 146796.00   | 149281.00   | 20.00  | 14.19              | -17.35            |
| 43     | 148629.84   | 148482.85   | 32.74  |                    | -46.48            |
| 44     | 149546.76   | 148083.78   | 16.56  | 2.73               | -145.80           |
| 45     | 151380.59   | 147285.63   | 30.70  | 26.73              | -18.55            |
| 46     | 155965.19   | 145290.26   | 65.00  | 56.29              | 3.65              |
| 47     | 158715.94   | 144093.04   | 82.00  |                    | 18.51             |
| 48     | 159632.86   | 143693.96   | 91.00  |                    | -0.51             |
| 49     | 160549.78   | 143294.89   | 107.15 | 88.28              | 6.22              |
| 50     | 164675.71   | 141498.58   | 45.92  | 37.44              | 15.57             |

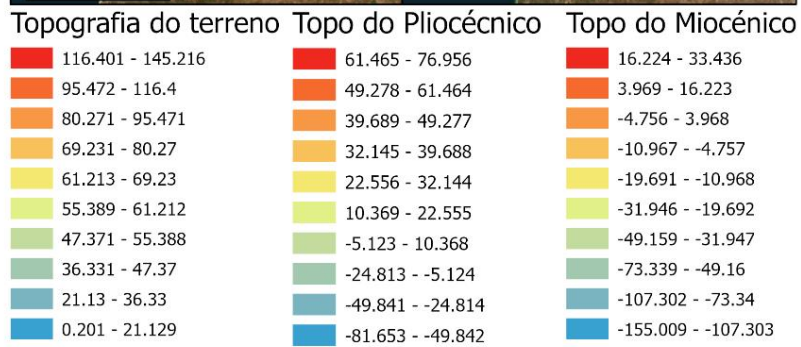
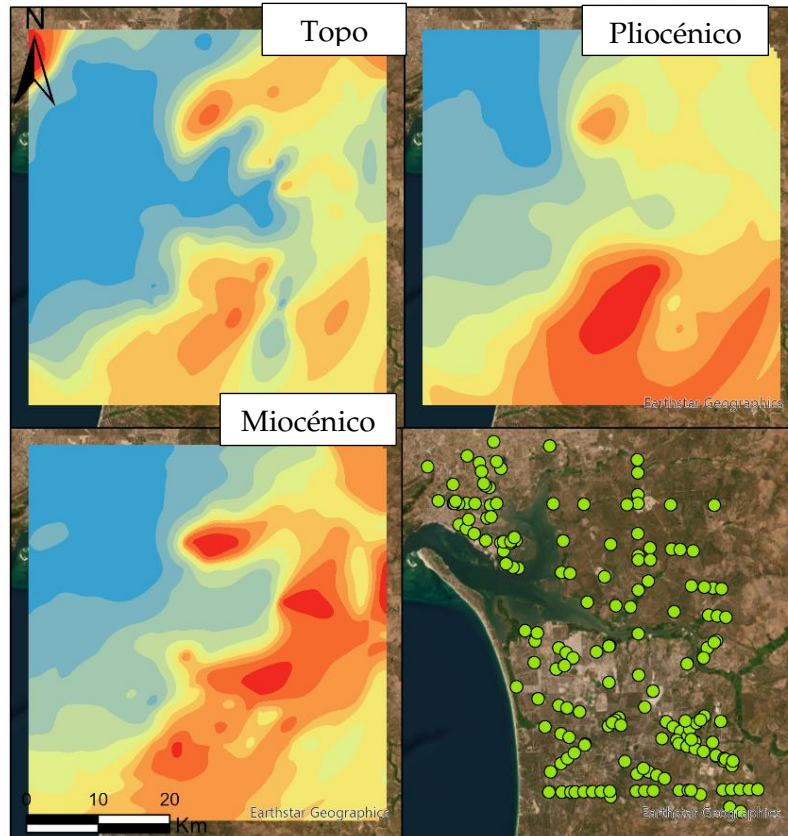


| Número | X           | Y           | Z     | Topo do Pliocénico | Topo do Miocénico |
|--------|-------------|-------------|-------|--------------------|-------------------|
| 51     | 168008.16   | 140046.48   | 45.40 |                    | -13.49            |
| 52     | 145910.00   | 160080.00   | 8.00  | -2.24              | -69.07            |
| 53     | 148377.80   | 158374.13   | 22.35 | 17.62              | -72.55            |
| 54     | 149200.39   | 157805.51   | 27.46 | 10.69              | -42.54            |
| 55     | 150022.99   | 157236.89   | 22.53 | 0.23               | -59.15            |
| 56     | 154135.98   | 154393.77   | 62.55 |                    | 26.98             |
| 57     | 158248.98   | 151550.66   | 71.61 |                    | 23.99             |
| 58     | 160716.77   | 149844.79   | 76.88 |                    | 20.64             |
| 59     | 161539.37   | 149276.17   | 79.18 |                    | 5.19              |
| 60     | 162361.97   | 148707.54   | 84.97 | 76.01              | 9.86              |
| 61     | 163184.57   | 148138.92   | 81.51 |                    | 30.23             |
| 62     | 164011.20   | 147576.23   | 81.31 | 63.57              | 22.55             |
| 63     | 166504.49   | 145907.85   | 64.85 | 38.31              | -23.27            |
| 64     | 167335.59   | 145351.73   | 34.94 | 23.63              | 9.06              |
| 65     | 168000.47   | 144906.83   | 53.81 |                    |                   |
| 66     | 143520.00   | 153881.00   | 9.00  | -23.85             | -78.54            |
| 67     | 148093.08   | 155902.62   | 20.00 |                    | -37.69            |
| 68     | 149007.69   | 156306.95   | 23.57 |                    | -13.05            |
| 69     | 152666.16   | 157924.25   | 30.81 | -1.98              | -1.98             |
| 70     | 154244.00   | 158624.00   | 8.36  |                    | -50.36            |
| 71     | 147429.22   | 144099.43   | 54.00 | 36.09              | -43.00            |
| 72     | 148605.05   | 145030.79   | 48.11 | 24.14              | -60.94            |
| 73     | 149388.94   | 145651.69   | 32.02 | 24.23              | -40.74            |
| 74     | 150172.82   | 146272.59   | 45.39 | 22.14              | -9.82             |
| 75     | 151348.65   | 147203.95   | 30.63 |                    | -9.37             |
| 76     | 155268.09   | 150308.46   | 68.00 | 57.90              | 0.41              |
| 77     | 154092.26   | 149377.11   | 66.39 |                    | -22.75            |
| 78     | 154876.15   | 149998.01   | 67.70 |                    | -0.86             |
| 79     | 159187.53   | 153412.98   | 62.33 |                    | -4.26             |
| 80     | 163106.96   | 156517.50   | 33.27 | 15.66              | -31.59            |
| 81     | 165458.62   | 158380.21   | 11.75 |                    | -49.40            |
| 82     | 166489.52   | 159192.94   | 23.45 |                    | -24.34            |
| 83     | 154312.71   | 141245.91   | 80.56 |                    | 17.02             |
| 84     | 157351.36   | 143847.18   | 82.80 |                    | -26.19            |
| 85     | 158111.03   | 144497.50   | 77.67 |                    | 14.18             |
| 86     | 161909.34   | 147749.09   | 93.28 |                    | -7.16             |
| 87     | 163428.66   | 149049.72   | 76.26 |                    | -0.53             |
| 88     | 164188.32   | 149700.04   | 84.71 |                    | 20.48             |
| 89     | 165125.73   | 150529.17   | 91.22 |                    | 46.45             |
| 90     | 139975.6578 | 170717.065  | 11.96 | -41.97             | -113.83           |
| 91     | 143701.1861 | 167560.5836 | 0.00  | -59.80             | -118.01           |
| 92     | 148675.3729 | 167053.1728 | 11.00 | -87.53             | -167.38           |
| 93     | 149670.2103 | 166951.6906 | 3.00  | -61.57             | -134.97           |
| 94     | 153649.5597 | 166545.762  | 55.36 | 0.77               | -101.14           |
| 95     | 158623.7465 | 166038.3511 | 8.00  |                    | -58.88            |
| 96     | 163597.9333 | 165530.9403 | 71.93 | 42.75              | -66.79            |
| 97     | 151662.9779 | 163638.2052 | 14.01 | -15.98             | -66.59            |
| 98     | 156633.3576 | 163094.7667 | 5.91  |                    | -60.39            |
| 99     | 161603.7373 | 162551.3282 | 33.44 |                    | -38.81            |
| 100    | 165580.0411 | 162116.5774 | 5.40  |                    | -97.24            |

| Número | X           | Y           | Z     | Topo do Pliocénico | Topo do Miocénico |
|--------|-------------|-------------|-------|--------------------|-------------------|
| 101    | 166574.1171 | 162007.8897 | 38.93 |                    |                   |
| 102    | 167568.193  | 161899.202  | 79.54 |                    | 59.11             |
| 103    | 145970.5409 | 152514.2091 | 13.56 | -19.86             | -70.40            |
| 104    | 148352.1536 | 151753.9979 | 27.84 | -10.53             | -92.62            |
| 105    | 149304.7986 | 151449.9134 | 32.00 | -7.69              | -59.71            |
| 106    | 150733.7662 | 150993.7867 | 37.00 | -3.74              | -57.24            |
| 107    | 154544.3465 | 149777.4487 | 60.58 |                    | -14.08            |
| 108    | 155496.9916 | 149473.3642 | 79.87 | 45.11              | -67.66            |
| 109    | 160260.2169 | 147952.9418 | 89.00 | 58.64              | -19.09            |
| 110    | 162165.507  | 147344.7728 | 90.04 |                    | -28.21            |
| 111    | 163118.1521 | 147040.6883 | 85.00 |                    | 17.24             |
| 112    | 164070.7972 | 146736.6038 | 76.81 | 69.44              | -29.83            |
| 113    | 165023.4422 | 146432.5193 | 71.19 | 33.58              | -27.64            |
| 114    | 166452.4098 | 145976.3926 | 63.93 | 31.31              | -25.48            |
| 115    | 167405.0549 | 145672.3081 | 31.10 |                    | 1.82              |
| 116    | 168357.7    | 145368.2236 | 63.00 |                    | 53.44             |
| 117    | 147242.9209 | 141758.7037 | 66.85 | 27.51              | -16.05            |
| 118    | 148742.7724 | 141779.8079 | 70.36 | 40.35              | -16.10            |
| 119    | 149742.6735 | 141793.8773 | 67.00 | 61.60              | 12.40             |
| 120    | 150242.624  | 141800.912  | 66.00 |                    | 12.16             |
| 121    | 151242.525  | 141814.9815 | 75.80 | 49.32              | -13.65            |
| 122    | 152242.426  | 141829.0509 | 71.00 | 62.64              | 71.99             |
| 123    | 153242.327  | 141843.1203 | 75.97 |                    | 11.67             |
| 124    | 154242.228  | 141857.1898 | 76.44 |                    | -9.49             |
| 125    | 157241.9311 | 141899.3981 | 92.78 |                    | 5.13              |
| 126    | 158241.8321 | 141913.4675 | 92.65 |                    | 10.00             |
| 127    | 159241.7331 | 141927.537  | 90.00 |                    | -15.47            |
| 128    | 162241.4362 | 141969.7453 | 83.46 |                    | -5.78             |
| 129    | 163241.3372 | 141983.8147 | 71.00 | 52.23              | -31.92            |
| 130    | 167240.9413 | 142040.0925 | 34.95 |                    | 2.40              |
| 131    | 168240.8423 | 142054.1619 | 57.33 | 48.67              | 5.52              |
| 132    | 169240.7434 | 142068.2314 | 66.93 | 30.08              | -21.36            |
| 133    | 170240.6444 | 142082.3008 | 78.03 | 38.41              | -18.52            |
| 134    | 171240.5454 | 142096.3703 | 77.27 | 46.73              | -31.50            |
| 135    | 172240.4464 | 142110.4397 | 82.59 | 61.74              | -25.72            |
| 136    | 166085.0267 | 165277.2349 | 77.43 | 27.54              | -63.90            |
| 137    | 167079.864  | 165175.7527 | 24.31 |                    | -16.54            |
| 138    | 165090.1893 | 165378.717  | 60.86 | 22.47              | -69.16            |
| 139    | 163564      | 141983      | 67.04 | 36.04              |                   |
| 140    | 163617      | 147840      | 85.00 | 65.00              |                   |
| 141    | 146796      | 149281      | 20.00 | 8.00               | -25.00            |
| 142    | 164631      | 150079      | 94.00 | 85.00              | 48.00             |
| 143    | 164994      | 157200      | 5.72  | -18.28             | -34.28            |
| 144    | 154145      | 158578      | 10.00 | 1.00               | -20.00            |
| 145    | 166255      | 159011      | 27.00 | 27.00              | 15.00             |
| 146    | 145620      | 159137      | 12.00 |                    |                   |
| 147    | 145910      | 160080      | 8.00  | -8.00              |                   |
| 148    | 143109.9    | 167620.9    | 3.00  | -38.00             | -113.00           |
| 149    | 142320      | 168050      | 6.00  |                    |                   |
| 150    | 158878      | 168480      | 30.00 | 28.00              |                   |

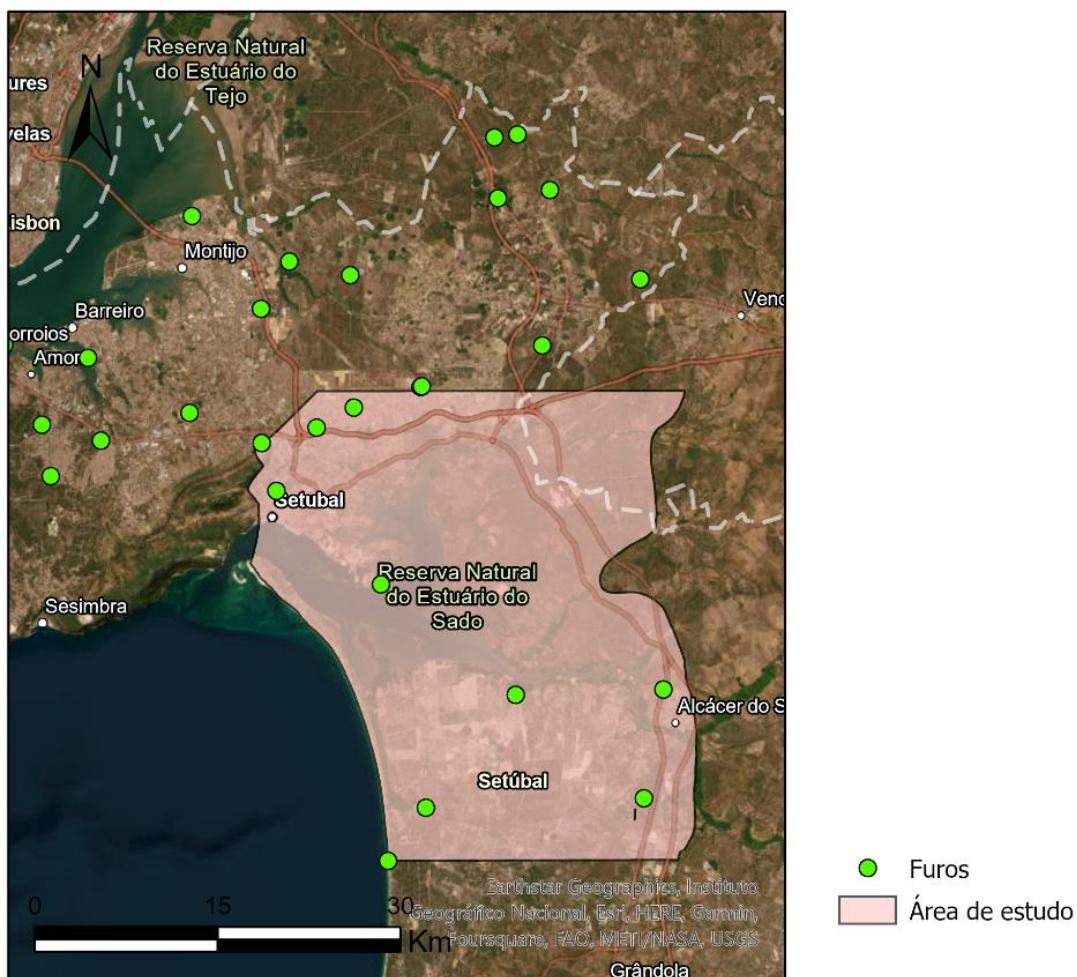
| Número | X          | Y         | Z     | Topo do Pliocénico | Topo do Miocénico |
|--------|------------|-----------|-------|--------------------|-------------------|
| 151    | 142820     | 170400    | 8.00  |                    |                   |
| 152    | 142000     | 170560    | 5.00  |                    |                   |
| 153    | 142850     | 170620    | 3.00  |                    |                   |
| 154    | 143260     | 171080    | 2.00  |                    |                   |
| 155    | 138008     | 173131    | 10.00 | -34.00             |                   |
| 156    | 137978     | 173167    | 10.00 | -4.00              | -129.00           |
| 157    | 140107.16  | 173312.59 | 21.00 | -17.00             | -111.00           |
| 158    | 140582     | 173432    | 9.50  | -77.00             | -143.30           |
| 159    | 136837     | 174952    | 28.20 | -71.80             | -131.80           |
| 160    | 136375     | 174999    | 30.30 | -63.10             | -122.30           |
| 161    | 136532     | 175260    | 30.00 | -64.00             | -124.00           |
| 162    | 134517.5   | 175277.3  | 20.00 |                    |                   |
| 163    | 140390     | 176813    | 10.00 | -75.00             | -142.00           |
| 164    | 139934     | 177028    | 10.00 | -91.00             | -142.00           |
| 165    | 136230     | 177150    | 32.00 |                    |                   |
| 166    | 139724     | 177274    | 10.00 | -92.00             | -131.00           |
| 167    | 141742     | 178989    | 20.00 | -81.00             | -129.00           |
| 168    | 141217     | 179813    | 28.20 | -71.80             | -135.80           |
| 169    | 137833.6   | 180436.4  | 31.00 |                    |                   |
| 170    | 147350     | 181610    | 40.00 |                    |                   |
| 171    | 140860     | 182080    | 38.00 |                    |                   |
| 172    | 140865     | 182086.3  | 37.00 |                    |                   |
| 173    | 166024.402 | 147488.99 | 51.00 |                    |                   |
| 174    | 167009.402 | 149903.99 | 52.00 |                    |                   |
| 175    | 162896.402 | 149968.99 | 71.00 |                    |                   |
| 176    | 180759.402 | 147916.99 | 70.00 |                    |                   |
| 177    | 162736.402 | 169710.99 | 41.00 |                    |                   |
| 178    | 154942.402 | 163232.99 | 23.70 | -174.53            |                   |
| 179    | 167547.402 | 145558.99 | 8.70  | 0.64               | -13.30            |

## B.4 Mapas das Krigagem para a construção do modelo

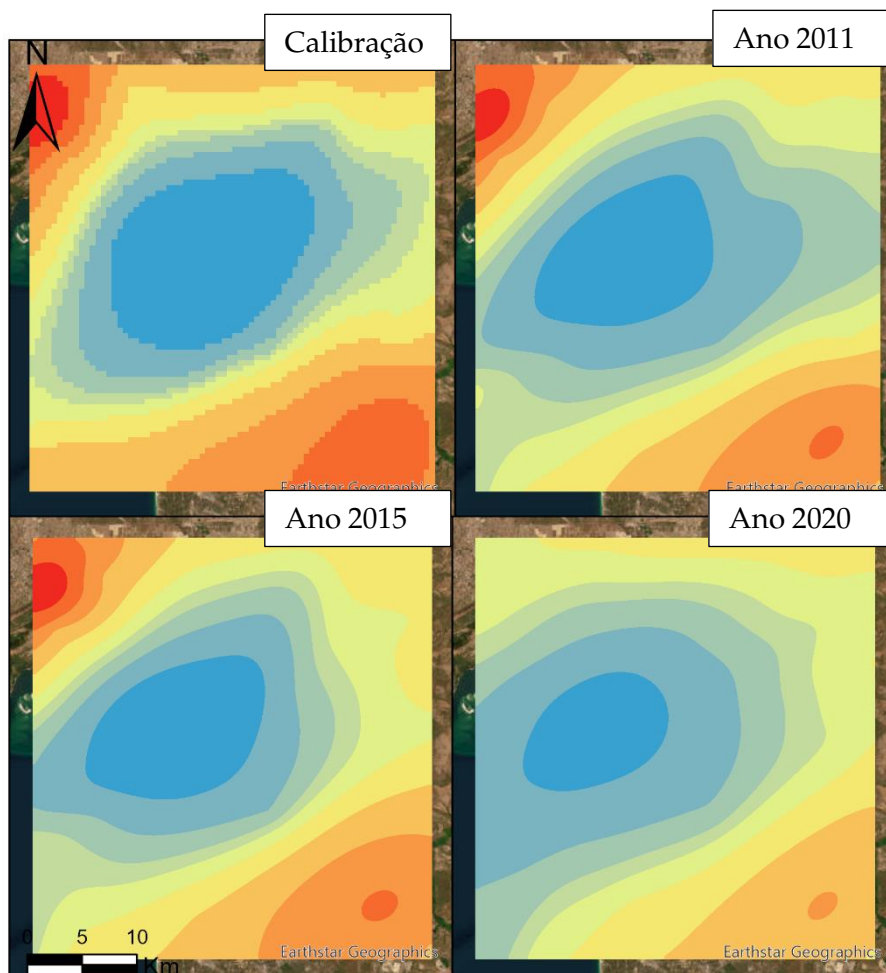


● pontos\_krigagem\_XYTableToPoi2

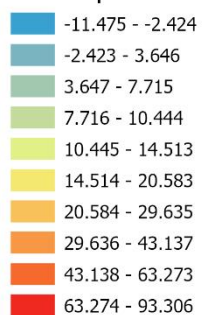
## B.5 Localização dos furos piezométricos na análise de para a obtenção de mapas



## B.6 Mapa das krigagens distribuição dos da

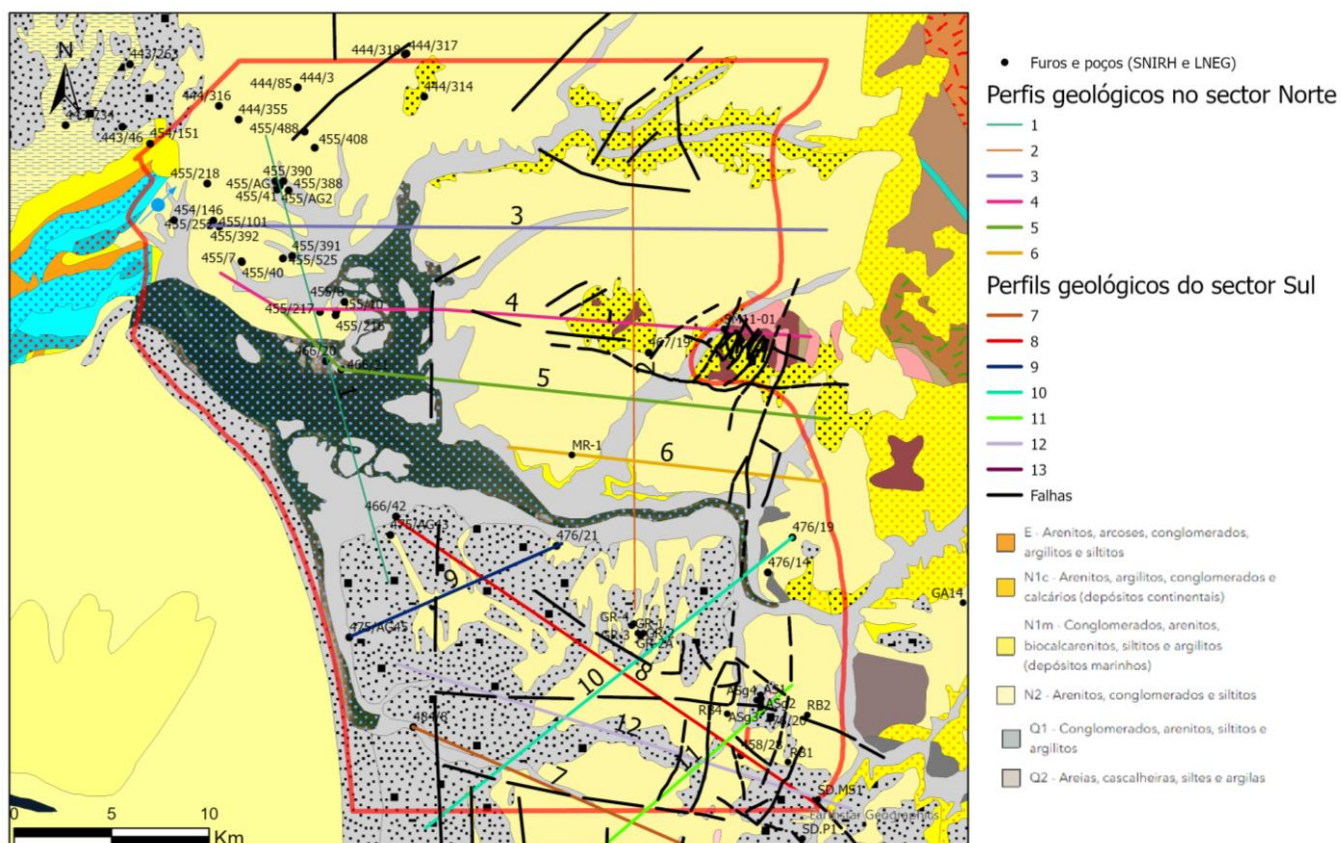


### Níveis piezométricos





## B.7 Perfis geológicos

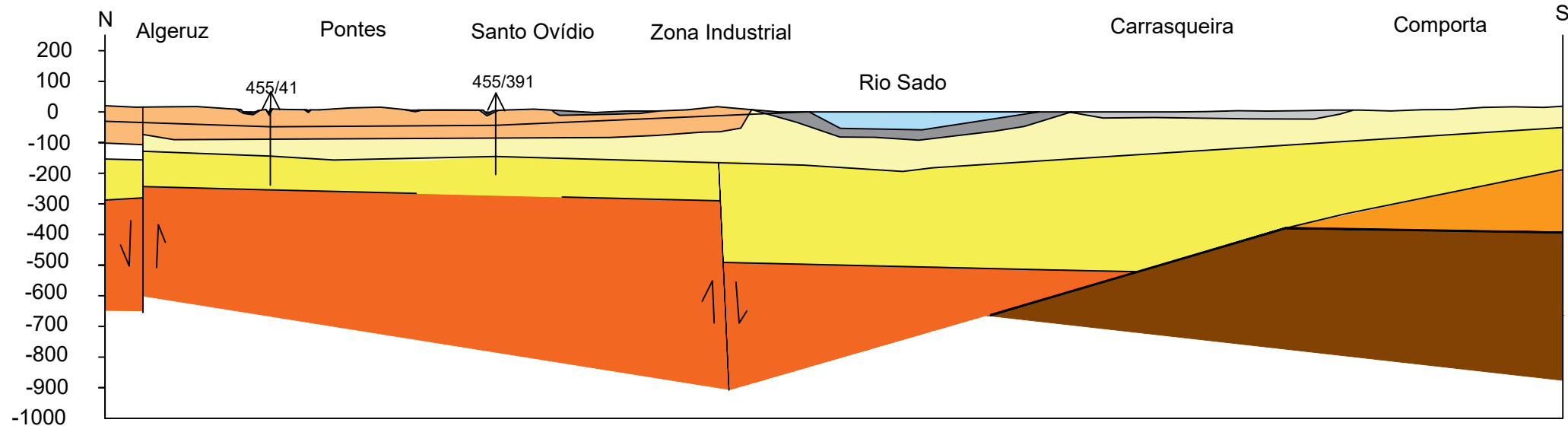


## B.8 Perfis Geológicos e Hidrogeológicos

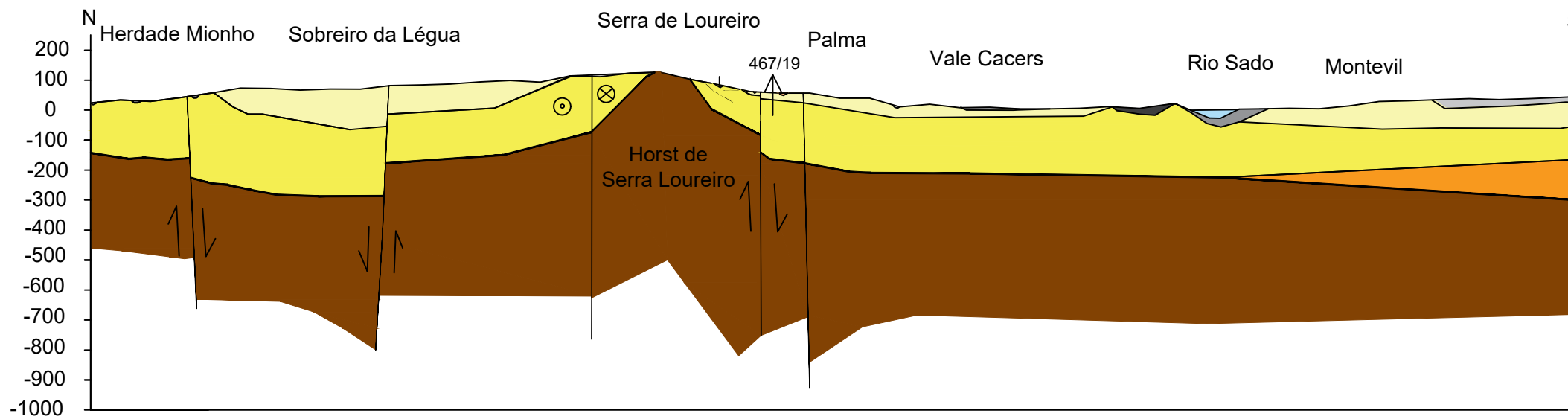


# Perfis Geológicos


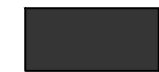

Perfil Geológico 1




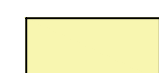



Perfil Geológico 2





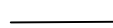





## QUARTENÁRIO:

-  Areias eólicas
-  Terraços aluviunais
-  Aluviões

## CENOZOICO:

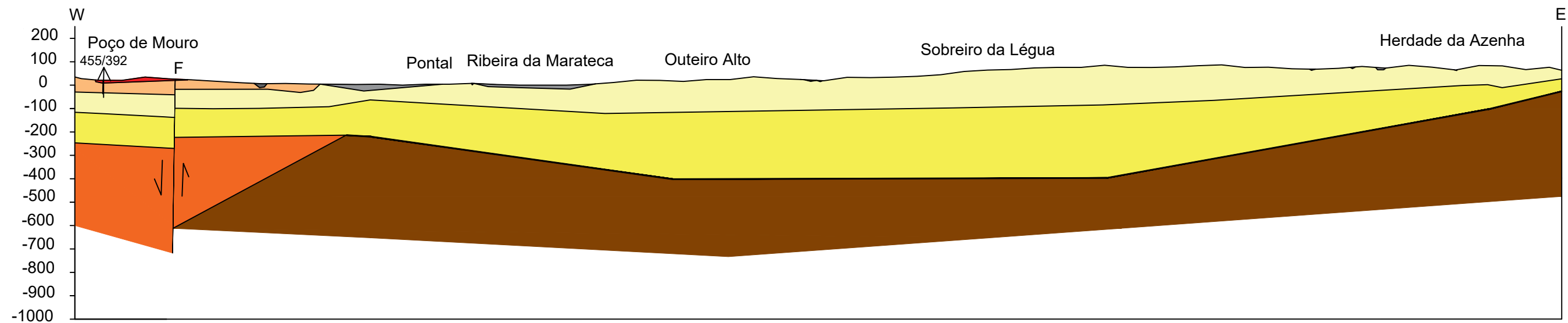
-  Complexo greso-argiloso de Aljezur e Mt. Pinheiro
-  Fm. Marateca
-  Fm. Marateca, Palma e Alcácer Sal
-  Fm. Vale do Guizo
-  Paleogénico

## SOCO PALEOZOICO (ZONA SUL PORTUGUESA):

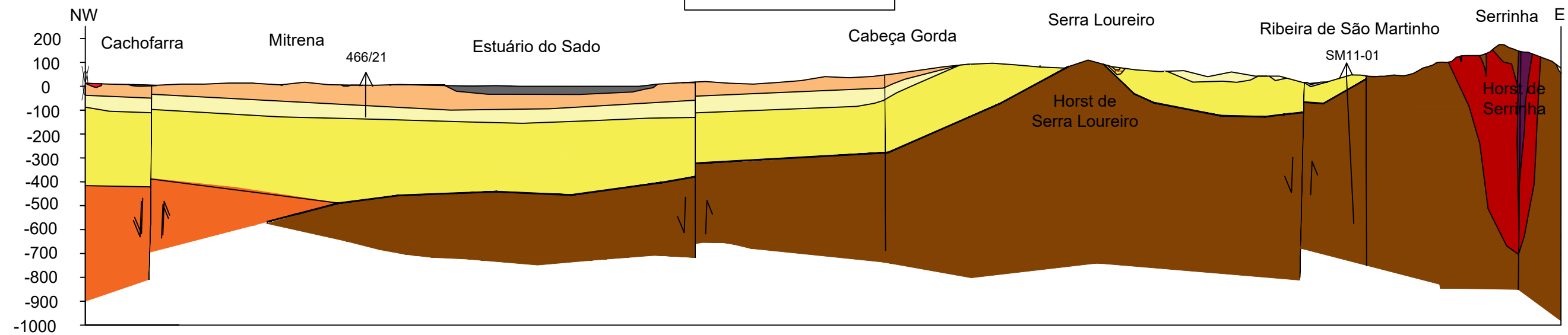
-  Paleozoico
-  Sondagem geológica/ Furo piezométrico
-  Limite geológico
-  Limite desconhecido
-  Descontinuidade
-  Possível falha
-  Falha
-  Orientação da falha
-  Desligamento direito
-  Desligamento direito

0 1000m

Perfil Geológico 3



Perfil Geológico 4



**QUARTENÁRIO:**

- Areias eólicas
- Terraços aluviunais
- Aluviões

**CENOZOICO:**

- Complexo greso-argiloso de Aljezur e Mt. Pinheiro
- Fm. Marateca
- Fm. Marateca, Palma e Alcácer Sal

Fm. Vale do Guizo

Paleogénico

**SOCO PALEOZOICO (ZONA SUL PORTUGUESA):**

Paleozoico



Sondagem geológica/ Furo piezométrico

Limite geológico

Limite desconhecido

Descontinuidade

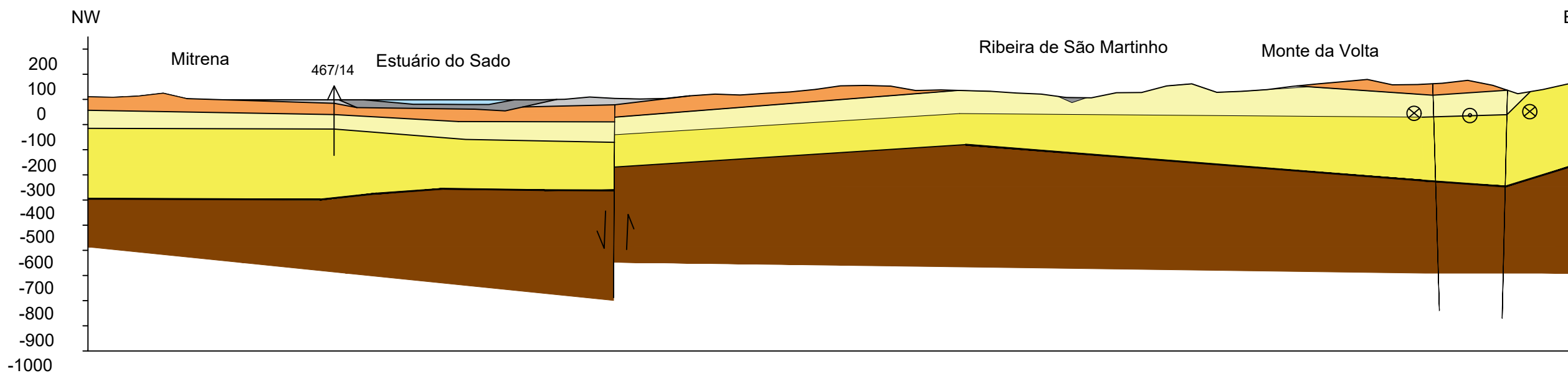
Possível falha

Falha

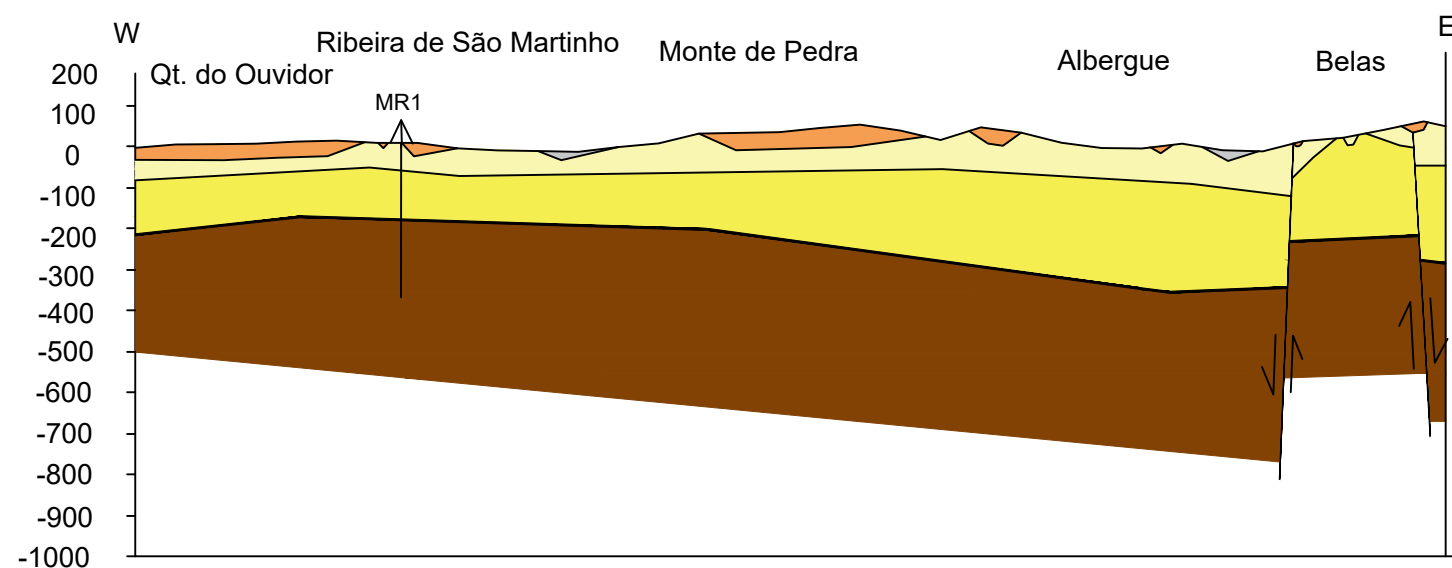
Orientação da falha

0 1000m




Perfil Geológico 5



Perfil Geológico 6





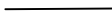





**QUARTENÁRIO:**

-  Areias eólicas
-  Terraços aluviunais
-  Aluviões

**CENOZOICO:**

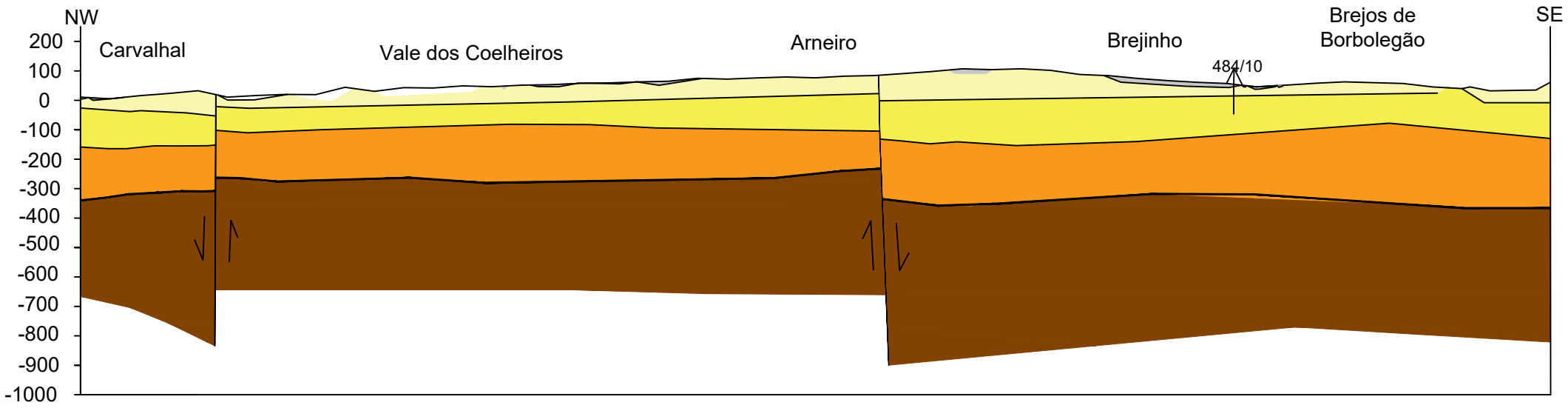
-  Complexo greso-argiloso de Aljezur e Mt. Pinheiro
-  Fm. Marateca
-  Fm. Marateca, Palma e Alcácer Sal
-  Fm. Vale do Guizo
-  Paleogénico

**SOCO PALEOZOICO (ZONA SUL PORTUGUESA):**

-  Paleozoico
-  Sondagem geológica/ Furo piezométrico
-  Limite geológico
-  Limite desconhecido
-  Descontinuidade
-  Possível falha
-  Falha
-  Orientação da falha

0 1000m

Perfil Geológico 7



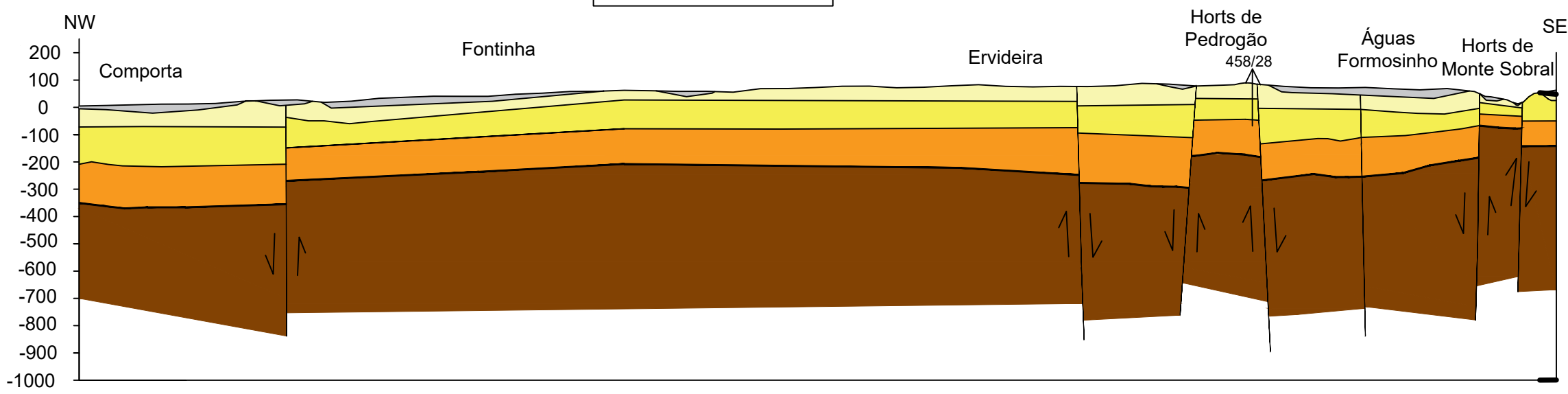
**QUARTENÁRIO:**



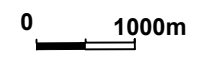
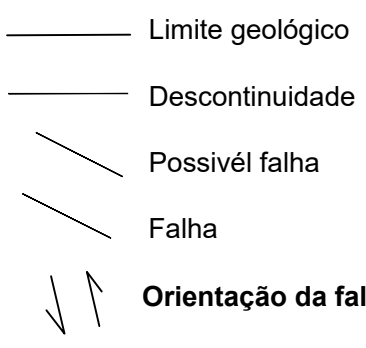
**CENOZOICO:**



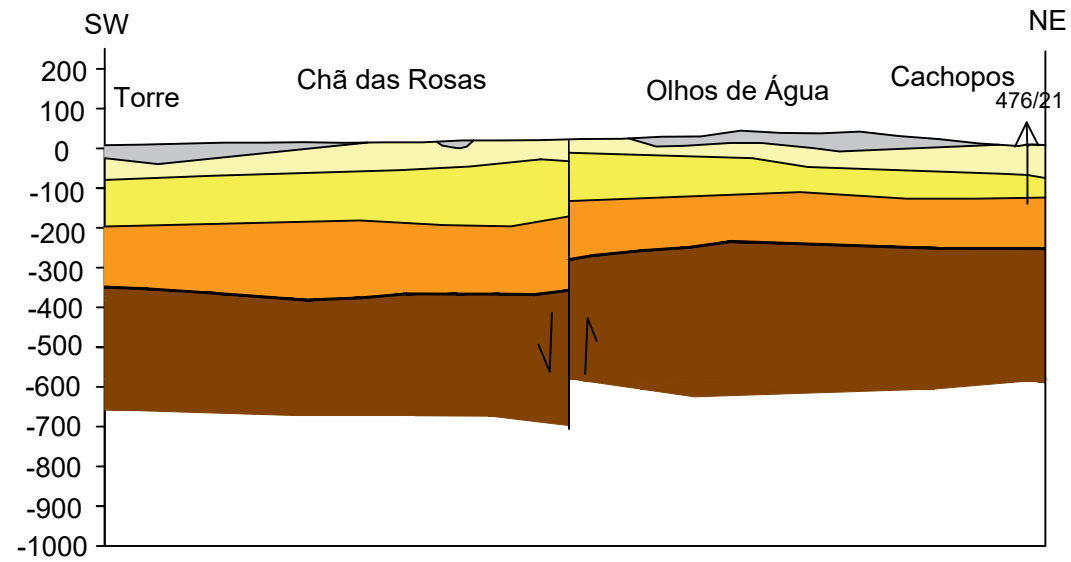
Perfil Geológico 8



**Sondagem geológica/ Furo piezométrico**



Perfil Geológico 9



**QUARTENÁRIO:**

Areias eólicas

**CENOZOICO:**

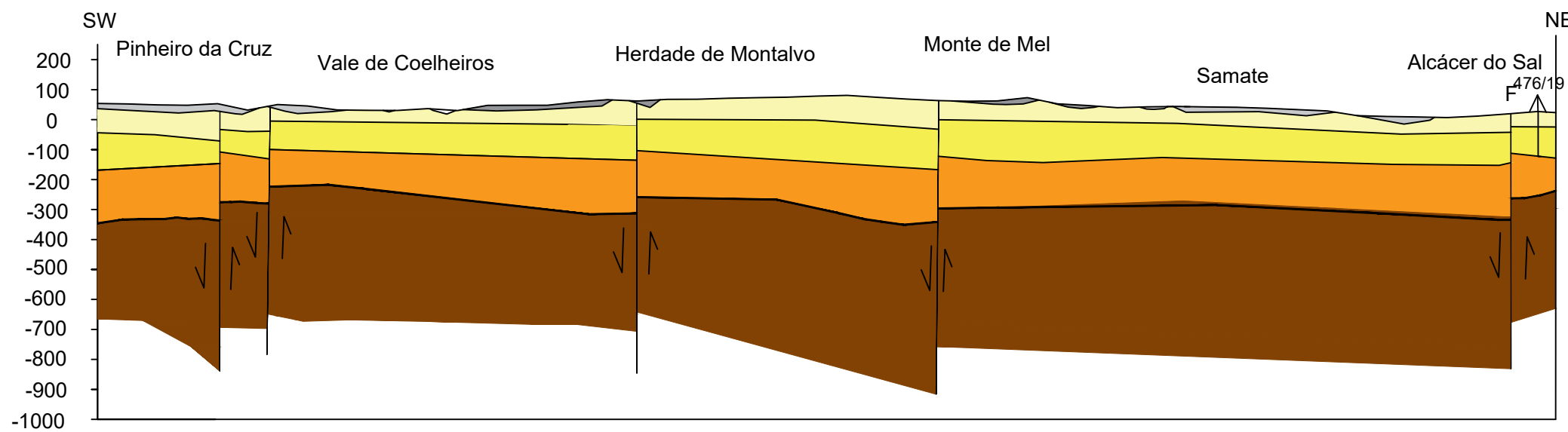
Fm. Marateca

Fm. Alcacer do Sal

Fm. Vale do Guizo

Paleozoico

Perfil Geológico 10



▲ Sondagem geológica/ Furo piezométrico

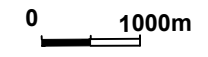
— Limite geológico

— Descontinuidade

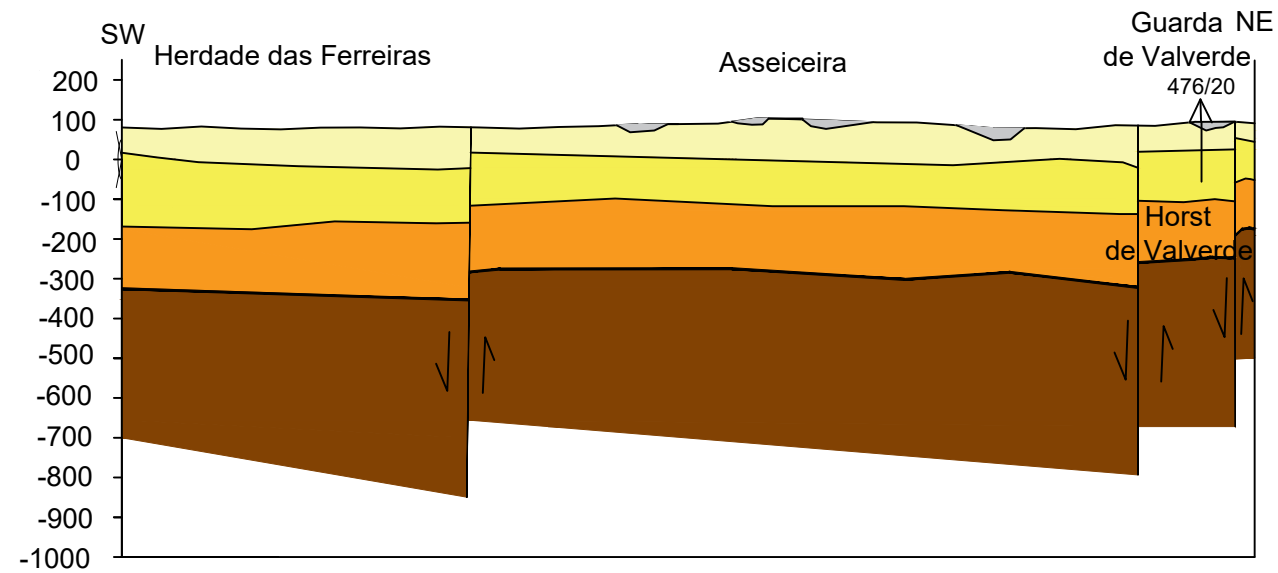
↘ Possível falha

↘ Falha

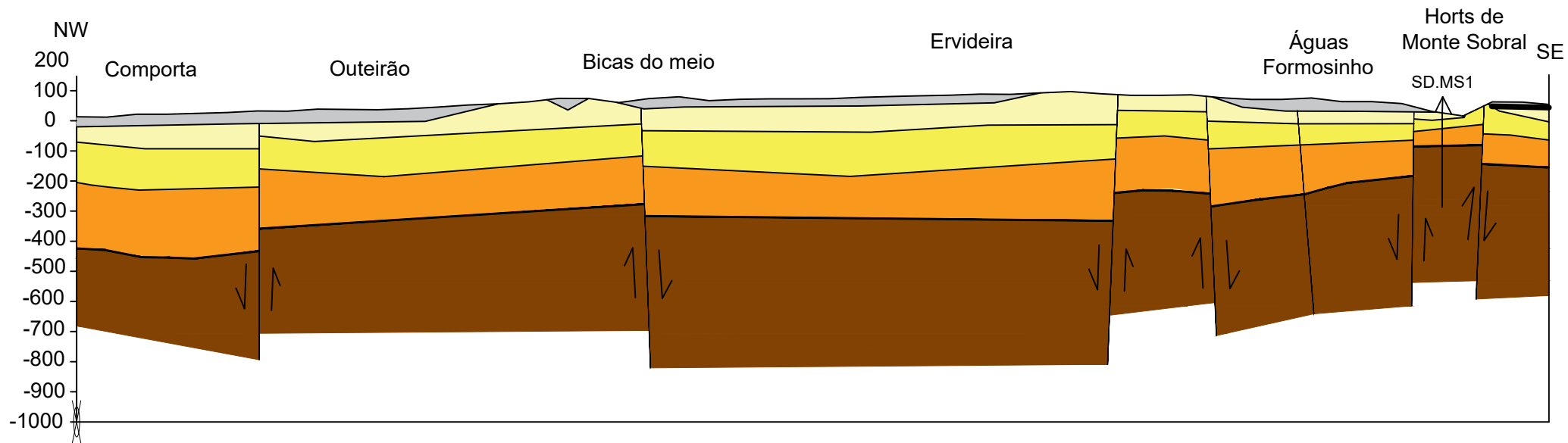
↕↗ Orientação da falha



Perfil Geológico 11



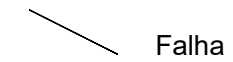
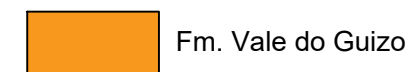
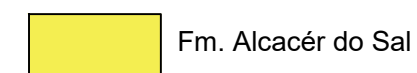
Perfil Geológico 12



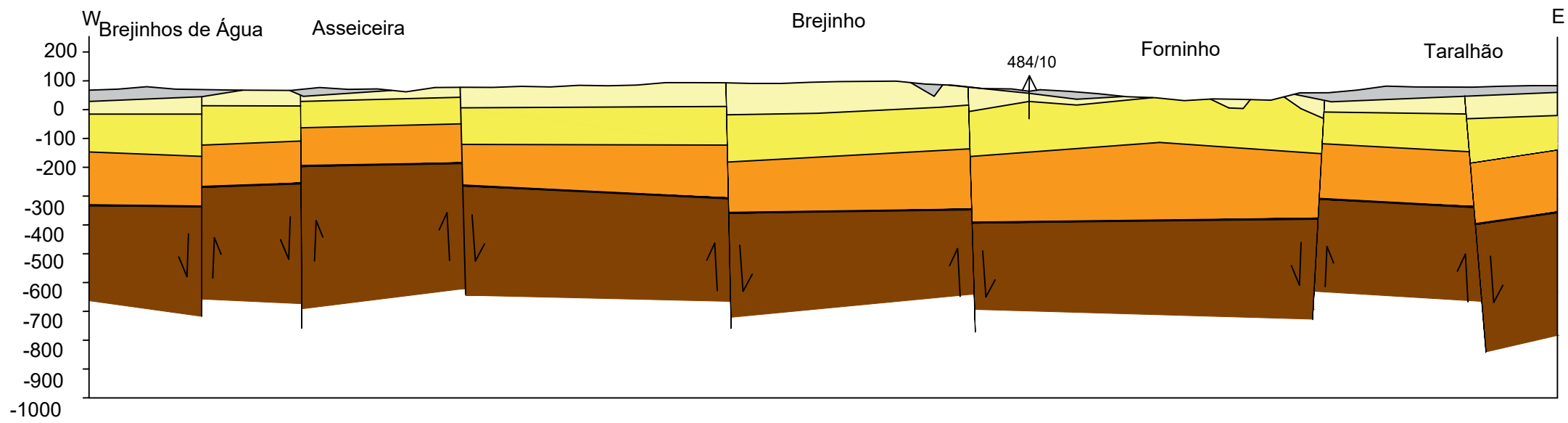
**QUARTENÁRIO:**



**CENOZOICO:**



Perfil Geológico 13



**QUARTENÁRIO:**

Areias eólicas

**CENOZOICO:**

Fm. Marateca

Fm. Alcacer do Sal

Fm. Vale do Guizo

Paleozoico

Sondagem geológica/ Furo piezométrico

Limite geológico

Descontinuidade

Possível falha

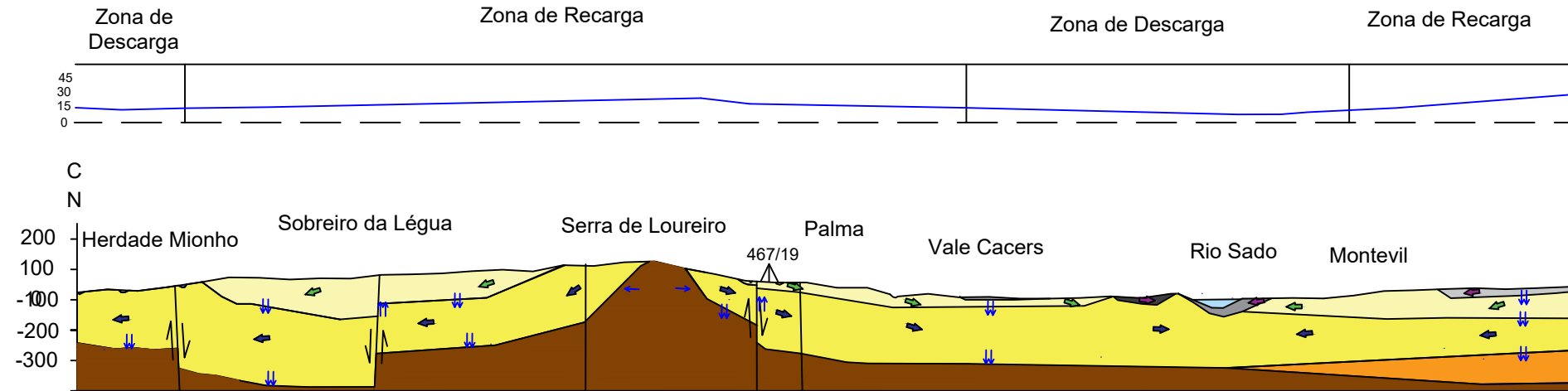
Falha

Orientação da falha

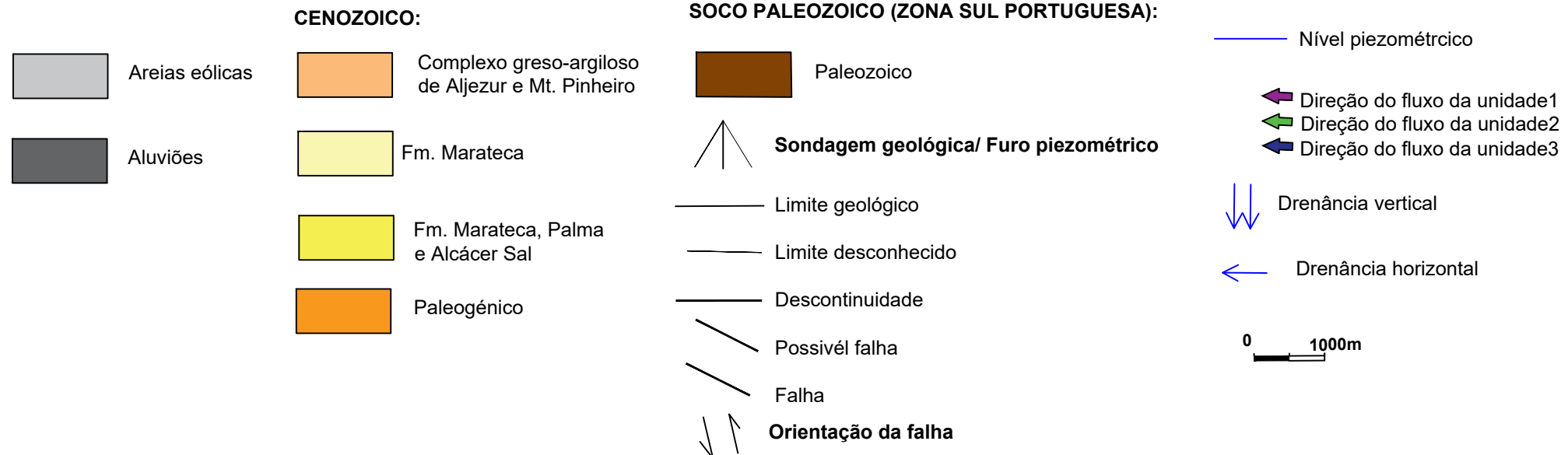
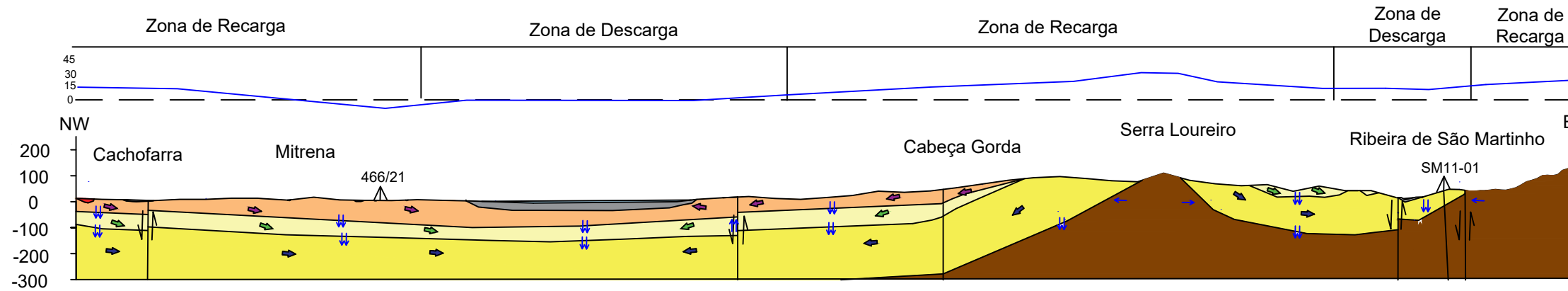
0 1000m

# Perfis Hidrogeológicos

Perfil Hidrogeológico 2

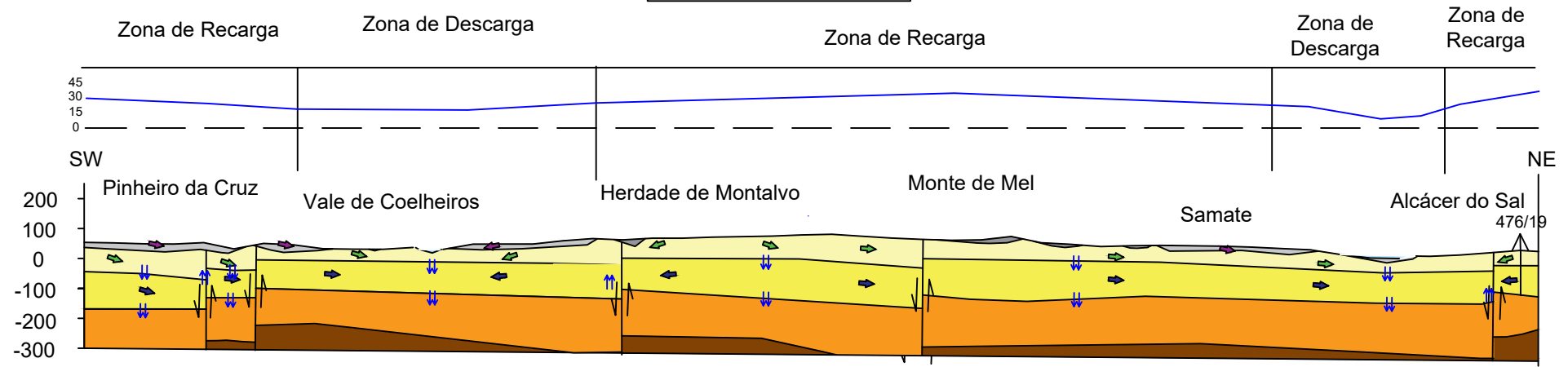


Perfil Hidrogeológico 4

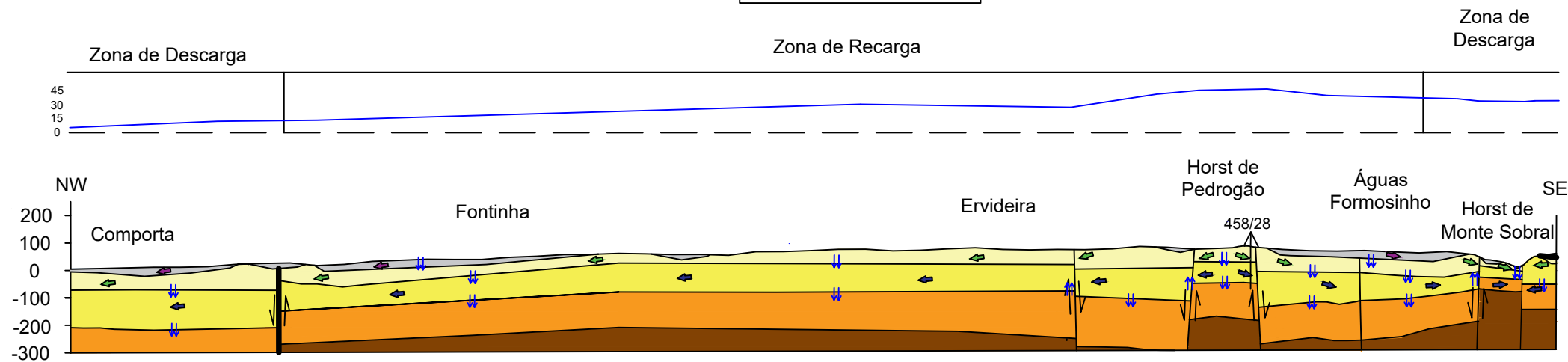




Perfil Hidrogeológico 10



Perfil Hidrogeológico 12



|                     |   |   |                              |
|---------------------|---|---|------------------------------|
| <b>QUARTENÁRIO:</b> | <b>CENOZOICO:</b>                                 | <b>SOCO PALEOZOICO (ZONA SUL PORTUGUESA):</b> |                              |
| Areias eólicas      | Complexo greso-argiloso de Aljezur e Mt. Pinheiro | Paleozoico                                    | Nível piezométrico           |
| Aluviões            | Fm. Marateca                                      | Sondagem geológica/ Furo piezométrico         | Direção do fluxo da unidade1 |
|                     | Fm. Marateca, Palma e Alcácer Sal                 | Limite geológico                              | Direção do fluxo da unidade2 |
|                     | Paleogénico                                       | Limite desconhecido                           | Direção do fluxo da unidade3 |
|                     |   | Descontinuidade                               | Drenância vertical           |
|                     |   | Possível falha                                | 0 1000m                      |
|                     |   | Falha   |                              |
|                     |   | Orientação da falha                           |                              |



2022

MARIANA BRANCO

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES EVOLUTIVAS DE SISTEMAS AQUÍFEROS PERTENCENTES AOS  
SECTORES CENTRO E SUL DA MARGEM ESQUERDA DA BACIA DO TEJO-SADO