LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

RESERVADO

ESTUDO DA SUSTENTABILIDADE DA OCUPAÇÃO DO SOLO NAS TERRAS DA COSTA, NA VERTENTE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. PROPOSTA DE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO

Relatório Final

RELATÓRIO 82/**2025 – DHA/NRE**

LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

RESERVADO

ESTUDO DA SUSTENTABILIDADE DA OCUPAÇÃO DO SOLO NAS TERRAS DA COSTA, NA VERTENTE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. PROPOSTA DE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO

Relatório Final

Município de Almada

Lisboa • março 2025

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 82/**2025 – DHA/NRE**

Título

ESTUDO DA SUSTENTABILIDADE DA OCUPAÇÃO DO SOLO NAS TERRAS DA COSTA, NA VERTENTE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. PROPOSTA DE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO
Relatório Final

Autoria

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

Teresa E. Leitão
Investigadora-Coordenadora, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Manuel M. Oliveira
Investigador Principal, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Tiago N. Martins
Técnico Superior, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Maria Emília Novo
Investigadora Auxiliar, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Maria José Henriques
Técnica Superior do LNEC (Aposentada)

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA
e-mail: lnec@lnec.pt
www.lnec.pt

Relatório 82/2025

Proc. 0605/1201/23664

ESTUDO DA SUSTENTABILIDADE DA OCUPAÇÃO DO SOLO NAS TERRAS DA COSTA, NA VERTENTE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. PROPOSTA DE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO

Relatório Final

Resumo

Neste relatório apresentam-se os resultados do estudo das águas subterrâneas do aquífero existente nas Terras da Costa, concelho de Almada, onde se procura analisar a sustentabilidade da ocupação do solo, na vertente águas subterrâneas, atendendo ao novo projeto de instalação de um Agroparque naquele local.

Do ponto de vista da qualidade das águas subterrâneas foram identificados diversos problemas resultantes de contaminação agrícola e, provavelmente também, de fossas séticas existentes no tecido urbano disperso pelo território agrícola, constituído por habitações familiares sem rede de esgotos. A principal solução proposta para ultrapassar esta questão passa por considerar que as próprias características da qualidade das águas subterrâneas (água muito rica em nutrientes) devem ser tidas em conta nos futuros planos de fertilização, diminuindo ou suprimindo o uso de fertilizantes, visando não só promover uma agricultura mais sustentável, mas também uma agricultura capaz de reduzir a contaminação na água ao ser utilizada pelas culturas enquanto fertilizante.

No que diz respeito à quantidade foi caracterizada a recarga anual da região, sendo necessário limitar as extrações de águas subterrâneas na área a 80% da recarga anual para se conseguir a sustentabilidade quantitativa deste recurso hídrico. As estimativas de extrações agrícolas são muito inferiores à recarga, o que não põe em causa a sustentabilidade quantitativa do uso de águas subterrâneas (eventuais captações para consumo humano não foram consideradas neste estudo).

Palavras-chave: Terras da Costa / Águas subterrâneas / Contaminação / Intrusão marinha / Balanço hídrico / Soluções

STUDY OF THE SUSTAINABILITY OF THE TERRAS DA COSTA LAND USE, IN THE GROUNDWATER POINT OF VIEW. PROPOSAL OF REHABILITATION MEASURES

Final Report

Abstract

This report presents the findings of a study of the aquifer in Terras da Costa, located in the municipality of Almada. The study evaluates the sustainability of land use in relation to groundwater resources, particularly considering the proposed Agropark project.

From a groundwater quality perspective, several issues were identified, mainly related to agricultural contamination and, probably, septic tank leakage from scattered residential areas without a sewage network. The primary recommendation is to integrate the aquifer's natural characteristics - specifically its high nutrient content - into future fertilization plans. By reducing or eliminating synthetic fertilizers, this approach promotes sustainable agriculture while mitigating water contamination, leveraging groundwater as a natural nutrient source for crops.

Regarding groundwater quantity, the study assessed the region’s annual recharge. To ensure long-term sustainability, groundwater abstractions should be limited to 80% of this recharge. The study found that agricultural water use is significantly lower than the recharge capacity, suggesting no immediate risk to quantitative sustainability. However, potential abstractions for human consumption were not considered in this analysis.

Keywords: Terras da Costa / Groundwater / Contamination / Saltwater intrusion / Water balance / Solutions

Índice

1 | Introdução 1
2 | Informação disponível de estudos anteriores e caracterização geral da área de estudo 4
2.1 Introdução 4
2.2 Clima 4
2.3 Hidrologia e topografia 5
2.4 Ocupação do solo 8
2.5 Geologia 11
2.6 Hidrogeologia 14
2.6.1 Caracterização geral dos aquíferos 14
2.6.2 Hidrogeoquímica 17
2.6.3 Isótopos 19
2.6.4 Efeito de maré 20
2.6.5 Recarga de aquíferos 21
3 | Seleção dos poços e furos existentes na área de estudo 25
3.1 Introdução 25
3.2 Metodologia 25
3.3 Poços selecionados 26
4 | Caracterização da qualidade das águas subterrâneas 29
4.1 Introdução 29
4.2 Metodologia 29
4.3 Critérios para a interpretação das análises químicas 30
4.3.1 Físico-químicos 30
4.3.2 Classificação das águas para irrigação 31
4.4 Resultados obtidos 33
4.4.1 Caracterização geral 33
4.4.2 Qualidade e contaminação 37
4.4.3 Adequabilidade química da água para uso agrícola 56
5 | Caracterização da influência da maré nas águas subterrâneas 58
5.1 Introdução 58
5.2 Metodologia 58
5.2.1 Sondas de medição contínua de condutividade elétrica, temperatura e nível piezométrico 58
5.2.2 Índices hidrogeoquímicos 59
5.3 Resultados obtidos 59
6 | Caracterização da recarga anual das águas subterrâneas 66
6.1 Introdução 66
6.2 Informação de base para o cálculo do balanço hídrico sequencial diário 67
6.2.1 Dados meteorológicos 67
6.2.2 Evapotranspiração de referência 68
6.2.3 Solos 70
6.2.4 Ocupação do solo 75
6.2.5 Mapa de base para cálculo da recarga 77
6.3 Resultados do balanço hídrico sequencial diário 80
6.3.1 Bacia hidrográfica 80
6.3.2 Terras da Costa 86

7 | Caracterização dos volumes de água extraídos 93
8 | Análise do balanço hídrico anual entre a recarga natural das águas subterrâneas e os volumes extraídos 98
9 | Identificação de soluções para melhorar o estado químico das águas subterrâneas 100
9.1 Introdução 100
9.2 Ações de controlo da contaminação na fonte 100
9.2.1 Considerações gerais 100
9.2.2 Ações de formação para o uso adequado de fertilizantes, pesticidas e água 100
9.2.3 Avaliação da compatibilidade das culturas para o tipo de solos 101
9.3 Soluções para melhorar a qualidade das águas subterrâneas 101
9.3.1 Considerações gerais 101
9.3.2 Recarga de aquíferos utilizando Soluções Baseadas na Natureza 101
9.3.3 Reabilitação natural 102
9.3.4 Remoção de fertilizantes agrícolas pela agricultura 103
9.4 Outros procedimentos de proteção das águas subterrâneas 104
9.4.1 Identificação de furos a captar em dois níveis aquíferos, cuja tubagem deve ser isolada para evitar contaminar o aquífero inferior 104
9.4.2 Caracterização dos elementos construtivos dos poços e furos e medidas de proteção 105
9.4.3 Identificação do tipo de ocupação nas zonas dos poços e furos 106
10 | Elaboração do modelo numérico do aquífero das Terras da Costa 107
10.1 Introdução 107
10.2 Simulação de cenários de alterações climáticas 107
10.2.1 Introdução 107
10.2.2 Série de precipitação 109
10.2.3 Série de evapotranspiração de referência 114
10.2.4 Estimativa da recarga em cenário de alterações climáticas 118
10.3 Caracterização das necessidades de água 130
10.3.1 Introdução 130
10.3.2 Série temporal de 1983/10/01 a 2023/09/30 133
10.3.3 Série temporal futura de 2075/10/01 a 2100/09/30 151
10.3.4 Balanço entre necessidades e recarga 164
10.4 Modelo numérico de escoamento 165
10.4.1 Características e calibração do modelo 165
10.4.2 Impacte das culturas no balanço hídrico 173
10.4.3 Previsão da evolução do teor de nitratos no aquífero através de um cenário de exploração 178
11 | Conclusões e recomendações 181
11.1 Conclusões 181
11.2 Recomendações 184
Referências bibliográficas 187
ANEXOS 191
ANEXO I Síntese da prospeção geofísica 193
ANEXO II Resultados das análises químicas das 59 amostras de águas subterrâneas 199
ANEXO III Preenchimento das lacunas de dados das séries de precipitação e das séries meteorológicas necessárias para o cálculo da evapotranspiração de referência 203
A.III.1 Precipitação 205
A.III.2 Dados meteorológicos para cálculo da evapotranspiração de referência 207
Temperatura máxima e mínima 207

Humidade relativa máxima e mínima 209
Velocidade do vento média 210
Radiação solar 213
Pressão atmosférica 215

Índice de figuras

Figura 1.1 – Localização da área de estudo (definida a vermelho) 1
Figura 2.1 – Bacias hidrográficas e rede de drenagem do concelho de Almada (Fonte: Simões, 2004) 6
Figura 2.2 – Bacia hidrográfica e topografia da área de estudo 8
Figura 2.3 – Tipos de ocupação do solo na bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada, conforme a cartografia CORINE Land Cover 2018 9
Figura 2.4 – Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada (CORINE Land Cover 2018) 10
Figura 2.5 – Uso e ocupação da área de estudo das Terras da Costa (Carta Ocupação do Solo, 2018) 11
Figura 2.6 – Enquadramento geológico 12
Figura 2.7 – Legenda do enquadramento geológico 13
Figura 2.8 – Localização das captações consideradas no estudo desenvolvido por Ferreira (2012) .. 20
Figura 2.9 – Oscilação do nível piezométrico no ponto F3A (Fonte: Ferreira, 2012) 21
Figura 2.10 – Oscilação do nível piezométrico no ponto P12A (Fonte: Ferreira, 2012) 21
Figura 2.11 – Oscilação do nível piezométrico no ponto P17A (Fonte: Ferreira, 2012) 21
Figura 2.12 – Recarga anual média para o intervalo temporal de 1981/10/01 e 2011/09/30 (Fonte: Caria *et al.*, 2013) 23
Figura 3.1 – Aspeto de um poço com a plataforma usada para construção de furo visando a aprofundamento do nível de extração de águas subterrâneas 25
Figura 3.2 – Pontos de águas subterrâneas amostrados na área de estudo 28
Figura 4.14 – Diagrama de Wilcox para avaliação do risco de alcalização e de salinização do solo para uso agrícola 32
Figura 4.2 – Diagrama de box-plot das concentrações em iões maiores e nitratos nas 59 amostras de águas subterrâneas 35
Figura 4.3 – Diagramas de Piper com a projeção da fácies hidroquímica das águas subterrâneas, para dezembro de 2023 (em cima) e maio de 2024 (em baixo) 36
Figura 4.4 – Distribuição espacial dos valores da condutividade elétrica (CE) nas águas subterrâneas 38
Figura 4.5 – Distribuição espacial da concentração de cloretos nas águas subterrâneas 39
Figura 4.6 – Distribuição espacial da concentração de sulfatos nas águas subterrâneas 40
Figura 4.7 – Distribuição espacial da concentração de nitratos nas águas subterrâneas 41
Figura 4.8 – Distribuição espacial da concentração de sódio nas águas subterrâneas 42
Figura 4.9 – Relação entre a concentração em sulfatos e em nitratos nas 59 amostras de águas subterrâneas 43
Figura 4.10 – Diagrama de box-plot das concentrações de sulfatos nas 59 amostras de águas subterrâneas 44
Figura 4.11 – Diagrama de box-plot das concentrações de nitratos nas 59 amostras de águas subterrâneas 44
Figura 4.12 – Distribuição espacial da concentração de cobre nas águas subterrâneas 46
Figura 4.13 – Distribuição espacial da concentração de zinco nas águas subterrâneas 47
Figura 4.14 – Distribuição espacial da concentração de ferro nas águas subterrâneas 48
Figura 4.15 – Distribuição espacial da concentração de potássio nas águas subterrâneas 49
Figura 4.16 – Distribuição espacial do valor do potencial de oxidação-redução das águas subterrâneas 50
Figura 4.17 – Identificação dos locais com a presença de pesticidas nas águas subterrâneas 51

Figura 4.18 – Concentração em pesticidas nas águas subterrâneas de alguns poços amostrados (a linha tracejada a vermelho representa a NQA para pesticidas totais e a linha tracejada a preto representa a NQA para pesticidas individuais) 52
Figura 4.19 – Identificação dos locais com a presença de hidrocarbonetos nas águas subterrâneas 53
Figura 4.20 – Concentração em hidrocarbonetos nas águas subterrâneas de alguns poços amostrados 54
Figura 4.21 – “Monoplot” dos resultados da PCA usando as análises químicas das águas subterrâneas 56
Figura 4.22 – Diagrama de Wilcox com a projeção aptidão para uso agrícola das águas subterrâneas 57
Figura 5.1 – Oscilação do nível piezométrico no poço P167, variação da maré e precipitação no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26 61
Figura 5.2 – Oscilação do nível piezométrico no poço P199, variação da maré e precipitação no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26 61
Figura 5.3 – Oscilação do nível piezométrico no poço P310, variação da maré e precipitação no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26 62
Figura 5.4 – Relação do índice iónico $rCl^-/rHCO_3^-$ nas 59 amostras de águas subterrâneas 64
Figura 5.5 – Relação do índice iónico rMg^{2+}/rCa^{2+} nas 59 amostras de águas subterrâneas 64
Figura 5.6 – Relação do índice iónico rK^+/rNa^+ nas 59 amostras de águas subterrâneas 65
Figura 6.1 – Precipitação diária estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica.... 67
Figura 6.2 – Precipitação anual estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica.... 68
Figura 6.3 – Evapotranspiração de referência calculada para a estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica 69
Figura 6.4 – Evapotranspiração de referência anual estimada para a estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica 69
Figura 6.5 – Solos predominantes na totalidade da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 71
Figura 6.6 – Solos predominantes corrigidos com informação da geologia e da carta de ocupação do solo para a totalidade da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 72
Figura 6.7 – Mapa de base para cálculo da recarga resultante da união dos mapas de ocupação do solo e de solos corrigido para a totalidade da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 79
Figura 6.8 – Distribuição da recarga anual média (1983/10/01-2023/09/30) na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 81
Figura 6.9 – Precipitação, escoamento direto, evapotranspiração (ETR) e recarga anual calculados para a totalidade da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 82
Figura 6.10 – Precipitação, escoamento direto, recarga, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), todos mensais médios (do período 1983/10/01-2023/09/30), e média da quantidade de água armazenada no solo disponível para evapotranspiração no último dia do mês, na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 84
Figura 6.11 – Distribuição da recarga anual média (1983/10/01-2023/09/30) na área das Terras da Costa 87
Figura 6.12 – Precipitação, escoamento direto, evapotranspiração (ETR) e recarga anual calculados para as Terras da Costa 88
Figura 6.13 – Precipitação, escoamento direto, recarga, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), todos mensais médios (do período 1983/10/01-2023/09/30), e média da quantidade de água armazenada no solo disponível para evapotranspiração no último dia do mês, na área das Terras da Costa 90
Figura 7.1 – Necessidades de água, expressas em altura de água, para a ocupação do solo caracterizada pela presença de couve e milho, cada uma delas cobrindo 50 % do espaço 95

Figura 7.2 – Extrações totais de águas subterrâneas estimadas para colmatar as necessidades de água da ocupação do solo caracterizada pela presença de couve e milho, cada uma delas cobrindo 50 % do espaço 95
Figura 7.3 – Necessidades de água mensais da área agrícola das Terras da Costa, expressas em altura de água, para a ocupação do solo caracterizada pela presença de couve e milho, cada uma delas cobrindo 50 % do espaço 96
Figura 8.1 – Balanço hídrico anual entre recarga e extrações (note-se que este balanço anual não é relevante pois o importante é o balanço anual a longo prazo). 99
Figura 9.1 – Ag-MAR implementado numa plantação de amendoeiras na Califórnia (Grinshpan *et al.*, 2021) 103
Figura 10.1 – Valores acumulados observados e dos modelos de precipitação diária para o período histórico 109
Figura 10.2 – Calibração dos modelos de precipitação diária, utilizando as séries produzidas pelos modelos para o período histórico com correção de viés 110
Figura 10.3 – Validação dos modelos de precipitação diária, utilizando as séries produzidas para o cenário RCP8.5 com correção de viés 111
Figura 10.4 – Funções distribuição de probabilidade (fdp): dos dados históricos medidos de precipitação diária, dos resultados históricos do modelo EARTH, dos resultados obtidos pelo modelo EARTH para o cenário RCP8.5 e dos mesmos resultados corrigidos do viés. As primeiras duas fdp foram utilizadas na definição da função de transferência para correção de viés dos resultados 112
Figura 10.5 – Precipitação diária estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica, com valores observados até 2023/09/30 e valores projetados pelo modelo EARTH para o cenário RCP8.5, com correção de viés, para o período após 2023/10/01 113
Figura 10.6 – Precipitação anual estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica, com valores observados até 2023/09/30 e valores projetados pelo modelo EARTH para o cenário RCP8.5, com correção de viés, para o período após 2023/10/01, representando-se os valores médios de vários períodos 113
Figura 10.7 – Valores de evapotranspiração de referência observados e resultantes dos modelos para o período histórico 114
Figura 10.8 – Valores de evapotranspiração de referência observados e resultantes dos modelos para o período histórico com correção de viés 114
Figura 10.9 – Validação dos valores de evapotranspiração de referência mensais, utilizando as séries produzidas para o cenário RCP8.5 com correção de viés 115
Figura 10.10 – Funções distribuição de probabilidade (fdp) da série de dados históricos calculados de evapotranspiração de referência mensais, e das séries produzidas pelos diversos modelos com correção de viés para o cenário RCP8.5 115
Figura 10.11 – Funções distribuição de probabilidade (fdp): dos dados históricos de evapotranspiração de referência calculados a partir das observações, dos resultados históricos do modelo MPI, dos resultados obtidos pelo modelo MPI para o cenário RCP8.5 e dos mesmos resultados corrigidos do viés. As primeiras duas fdp foram utilizadas na definição da função de transferência para correção de viés dos resultados 116
Figura 10.12 – Evapotranspiração de referência estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica, com valores observados até 2023/09/30 e valores projetados pelo modelo MPI para o cenário RCP8.5, com correção de viés, para o período após 2023/10/01 ... 117
Figura 10.13 – Evapotranspiração de referência anual estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica, com valores observados até 2023/09/30 e valores projetados pelo modelo MPI para o cenário RCP8.5, com correção de viés, para o período após 2023/10/01, representando-se os valores médios de vários períodos 117
Figura 10.14 – Distribuição da recarga anual média estimada no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período 2075/10/01 a 2100/09/30, na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 119
Figura 10.15 – Precipitação, escoamento direto, evapotranspiração (ETR) e recarga anual estimados para a totalidade da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada para o cenário de alterações climáticas 120

Figura 10.16 – Precipitação, escoamento direto, recarga, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), todos mensais médios estimados (para o período out/2075-set/2100), e média da quantidade de água armazenada no solo disponível para evapotranspiração no último dia do mês, na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 122
Figura 10.17 – Distribuição da recarga anual média estimada no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período 2075/10/01 a 2100/09/30, na área das Terras da Costa..... 125
Figura 10.18 – Precipitação, escoamento direto, evapotranspiração (ETR) e recarga anual estimados no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período de 2075/10/01 a 2100/09/30, para as Terras da Costa 126
Figura 10.19 – Precipitação, escoamento direto, recarga, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), todos mensais médios estimados (para o período 2075/10/01-2100/09/30), e média da quantidade de água armazenada no solo disponível para evapotranspiração no último dia do mês, na área das Terras da Costa..... 128
Figura 10.20 – Associações de solos utilizadas no cálculo da recarga da área do Agroparque..... 132
Figura 10.21 – Necessidades e recarga calculadas para a couve portuguesa no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 134
Figura 10.22 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para a couve portuguesa no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 100 dias do ano hidrológico)... 135
Figura 10.23 – Necessidades e recarga calculadas para a couve-brócolo no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 137
Figura 10.24 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para a couve-brócolo no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 80 dias do ano hidrológico)..... 138
Figura 10.25 – Necessidades e recarga calculadas para a batata no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 140
Figura 10.26 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para a batata no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 65 dias de início e desenvolvimento da cultura) 141
Figura 10.27 – Necessidades e recarga calculadas para a batata-doce no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 143
Figura 10.28 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para a batata-doce no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 50 dias de início e desenvolvimento da cultura) 144
Figura 10.29 – Necessidades e recarga calculadas para o milho no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 146
Figura 10.30 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para o milho no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 70 dias de início e desenvolvimento da cultura) 147
Figura 10.31 – Necessidades e recarga calculadas para uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 149
Figura 10.32 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo, no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: todos os processos estão representados considerando que a cultura ocupa sempre a totalidade da área) 150
Figura 10.33 – Necessidades e recarga estimadas para a couve portuguesa, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 152

Figura 10.34 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para a couve portuguesa, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 100 dias do ano hidrológico) 153
Figura 10.35 – Necessidades e recarga estimadas para a couve-brócolo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 154
Figura 10.36 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para a couve-brócolo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 80 dias do ano hidrológico) 155
Figura 10.37 – Necessidades e recarga estimadas para a batata, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 156
Figura 10.38 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para a batata, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 65 dias de início e desenvolvimento da cultura) 157
Figura 10.39 – Necessidades e recarga estimadas para a batata-doce, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 158
Figura 10.40 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para a batata-doce, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 50 dias de início e desenvolvimento da cultura) 159
Figura 10.41 – Necessidades e recarga estimadas para o milho, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 160
Figura 10.42 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para o milho, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 70 dias de início e desenvolvimento da cultura) 161
Figura 10.43 – Necessidades e recarga estimadas para uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 162
Figura 10.44 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: todos os processos estão representados considerando que a cultura ocupa sempre a totalidade da área) 163
Figura 10.45 – Área do modelo numérico de escoamento subterrâneo e células ativas com indicação do limite da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada, o limite da área do Agroparque e a localização das condições de fronteira de potencial constante e poços..... 166
Figura 10.46 – Caudais dos poços atribuídos ao modelo de escoamento 168
Figura 10.47 – Interface do programa ModelMuse ilustrando a malha do modelo e os valores de condutividade hidráulica atribuídos (verde = 6 m/d, vermelho = 11 m/d, azul = 0,1 m/d) 169
Figura 10.48 – Nível piezométrico obtido para a situação atual 170
Figura 10.49 – Nível piezométrico obtido para a situação atual (escala de cores restringida ao intervalo 0-3 m) 171
Figura 10.50 – Balanço volumétrico do modelo para a situação atual 172
Figura 10.51 – Representação do ajustamento do modelo aos dados monitorizados 172
Figura 10.52 – Diferenças entre os níveis piezométricos (NP) observados e modelados (quanto maior a bola, maior a diferença – bolas vermelhas: NP modelado acima do observado, bolas

azuis: NP observado acima do modelado. Maior diferença absoluta: 68 cm, Menor diferença absoluta: 2 cm)..... 173
Figura 10.53 – Nível piezométrico obtido para o período 1983/10/01 a 2023/09/30, utilizando a cultura de batata e as extrações de água estimadas para o ano de maiores necessidades de água (no lado direito a escala de cores está restringida ao intervalo 0-3 m)..... 175
Figura 10.54 – Balanço volumétrico do modelo para o período 1983/10/01 a 2023/09/30, utilizando a cultura de batata e as extrações de água estimadas para o ano de maiores necessidades de água 175
Figura 10.55 – Nível piezométrico obtido para a situação do cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período 2075/10/01 a 2100/09/30, utilizando a cultura de batata e as extrações de água estimadas para o ano de maiores necessidades de água (no lado direito a escala de cores está restringida ao intervalo 0-3 m) 177
Figura 10.56 – Balanço volumétrico do modelo para a situação do cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período 2075/10/01 a 2100/09/30, utilizando a cultura de batata e as extrações de água estimadas para o ano de maiores necessidades de água 177
Figura 10.57 – Evolução do teor de nitratos (mg/L). Da esquerda para a direita e de cima para baixo: tempo inicial, ~1 ano, ~2 anos, 5 anos, 10 anos, 20 anos, 30 anos, 40 anos, 50 anos . 179
Figura 10.58 – Evolução dos teores de nitratos máximo e mínimo na área do modelo..... 180

Índice de quadros

Quadro 2.1 – Taxas de infiltração e volumes infiltrados (Fonte: Simões, 2004) 21
Quadro 3.1 – Características dos pontos de águas subterrâneas selecionados..... 27
Quadro 4.1 – Valores de referência (ou NQA) em águas subterrâneas e para os parâmetros analisados 30
Quadro 4.2 – Síntese estatística dos resultados das 59 amostras de águas subterrâneas..... 33
Quadro 4.3 – Matriz de correlação de Pearson com alguns dos parâmetros analisados com valores acima dos limites de quantificação 54
Quadro 4.4 – Coeficientes de correlação entre os parâmetros analisados com valores acima dos limites de quantificação..... 55
Quadro 4.5 – Variância, proporção e proporção cumulativa dos vários componentes da análise de componentes principais das águas subterrâneas 55
Quadro 5.1 – Características dos pontos monitorizados e valores de medições efetuadas no decurso da instalação de sondas automáticas CTD 58
Quadro 5.2 – Valores da profundidade ao nível piezométrico (m) registados com sondas automáticas no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26 60
Quadro 5.3 – Valores dos níveis piezométricos (m) registados com sondas automáticas no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26..... 60
Quadro 5.4 – Valores de CE (µS/cm) registados com as sondas automáticas no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26 63
Quadro 6.1 – Classificação dos solos presentes nas áreas de estudo 73
Quadro 6.2 – Solos, número de ocorrências e respetivas áreas na área da bacia hidrográfica 74
Quadro 6.3 – Solos, número de ocorrências e respetivas áreas na área das Terras da Costa 74
Quadro 6.4 – Caracterização dos parâmetros dependentes dos solos para a corrida do modelo de balanço hídrico..... 75
Quadro 6.5 – Classes de ocupação do solo Corine Land Cover 2018 e respetivas áreas 75
Quadro 6.6 – Classes de ocupação do solo e número de culturas/cobertos considerado em cada ocupação do solo 76
Quadro 6.7 – Parâmetros caracterizadores de cada classe de ocupação do solo..... 77
Quadro 6.8 – Valores anuais médios resultantes do balanço hídrico do período de 1983/10/01 a 2023/09/30 na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 82
Quadro 6.9 – Resultados anuais do balanço hídrico da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada (mm/ano) 83
Quadro 6.10 – Valores mensais médios do balanço hídrico (mm/mês) na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 85
Quadro 6.11 – Valores mensais médios do balanço hídrico (x1000 m^3/mês) na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 85
Quadro 6.12 – Recarga mensal da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada (mm/mês)..... 86
Quadro 6.13 – Valores anuais médios resultantes do balanço hídrico do período de 1983/10/01 a 2023/09/30 na área das Terras da Costa 88
Quadro 6.14 – Resultados anuais do balanço hídrico da área das Terras da Costa (mm/ano)..... 89
Quadro 6.15 – Valores mensais médios do balanço hídrico (mm/mês) na área das Terras da Costa 91
Quadro 6.16 – Valores mensais médios do balanço hídrico (x1000 m^3/mês) na área das Terras da Costa..... 91
Quadro 6.17 – Recarga mensal da área das Terras da Costa (mm/mês)..... 92
Quadro 7.1 – Parâmetros caracterizadores da classe de ocupação do solo “Sistemas culturais e parcelares complexos” (código CLC 2018 = 242) 94
Quadro 7.2 – Valores mensais e anuais (mm) das necessidades de água na área agrícola das Terras da Costa para a ocupação do solo caracterizada pela presença de couve e milho, cada

uma delas cobrindo 50 % do espaço, para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 97
Quadro 10.1 – Médias observadas em diferentes períodos da série de precipitação 113
Quadro 10.2 – Médias observadas em diferentes períodos da série de evapotranspiração de referência 118
Quadro 10.3 – Valores anuais médios resultantes do balanço hídrico do período de 2075/10/01 a 2100/09/30 na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 120
Quadro 10.4 – Resultados anuais do balanço hídrico da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada (mm/ano) para o cenário de alterações climáticas 121
Quadro 10.5 – Valores mensais médios do balanço hídrico estimado, para o período 2075/10/01-2100/09/30 (mm/mês), na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 123
Quadro 10.6 – Valores mensais médios do balanço hídrico estimado, para o período 2075/10/01-2100/09/30 (x1000 m^3/mês), na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada 123
Quadro 10.7 – Recarga mensal estimada para o período 2075/10/01-2100/09/30 na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada (mm/mês) 123
Quadro 10.8 – Valores anuais médios resultantes do balanço hídrico estimados no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período de 2075/10/01 a 2100/09/30, na área das Terras da Costa 126
Quadro 10.9 – Resultados anuais do balanço hídrico estimado no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período de 2075/10/01 a 2100/09/30, na área das Terras da Costa (mm/ano) 127
Quadro 10.10 – Valores mensais médios do balanço hídrico estimado, para o período 2075/10/01-2100/09/30 (mm/mês), na área das Terras da Costa 129
Quadro 10.11 – Valores mensais médios do balanço hídrico estimado, para o período 2075/10/01-2100/09/30 (x1000 m^3/mês), na área das Terras da Costa 129
Quadro 10.12 – Recarga mensal estimada para o período 2075/10/01-2100/09/30 na área das Terras da Costa (mm/mês) 129
Quadro 10.13 – Parâmetros caracterizadores de cada cultura 131
Quadro 10.14 – Caracterização dos parâmetros dependentes dos solos para a corrida do modelo de balanço hídrico na área do Agroparque 133
Quadro 10.15 – Valores mensais e anuais das necessidades de água da couve portuguesa para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 136
Quadro 10.16 – Valores mensais e anuais das necessidades de água da couve-brócolo para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 139
Quadro 10.17 – Valores mensais e anuais das necessidades de água da batata para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 142
Quadro 10.18 – Valores mensais e anuais das necessidades de água da batata-doce para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 145
Quadro 10.19 – Valores mensais e anuais das necessidades de água do milho para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 148
Quadro 10.20 – Valores mensais e anuais das necessidades de água de uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 151
Quadro 10.21 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para a couve portuguesa, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 153

Quadro 10.22 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para a couve-brócolo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 155
Quadro 10.23 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para a batata, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 157
Quadro 10.24 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para a batata-doce, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 159
Quadro 10.25 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para o milho, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 161
Quadro 10.26 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10) 163
Quadro 10.27 – Necessidades de água e recarga, médias por cultura e por período temporal, para as áreas do Agroparque e da bacia hidrográfica (B.H.) das Ribeiras da Costa 164
Quadro 11.1 – Necessidades médias de água calculadas em função do tipo de cultura, para a situação do passado e para o cenário de alterações climáticas RCP8.5, e relação entre as necessidades de água e a recarga anual média na bacia 183

1 | Introdução

A Câmara Municipal de Almada (CMA) solicitou ao LNEC um "estudo do ciclo da água nas Terras da Costa" associado ao novo projeto de um Agroparque nas Terras da Costa (TC) procurando: Fase 1 – caracterizar a situação existente nas águas subterrâneas do aquífero das TC e Fase 2 - identificar os pontos fracos no sistema e fornecer elementos para a sua reabilitação. Os resultados da Fase 1 foram apresentados em Leitão *et al.* (2024). Neste relatório apresentam-se os resultados do conjunto de estudos desenvolvidos no âmbito deste Projeto.

A área de estudo das Terras da Costa situa-se na freguesia de Caparica, concelho de Almada, no litoral arenoso da bordadura litoral Trafaria – Cabo Espichel (Figura 1.1). Trata-se de uma área de 212 ha, com alinhamento N30ºW, delimitada a oeste pela estrada nacional 10-1, a este pela arriba fóssil da Costa da Caparica, a norte pela avenida Dom Sebastião e a sul pela estrada florestal da Fonte da Telha ER377-2. Tem 4,8 km de comprimento por 0,75 km de largura máxima, entre as coordenadas (sistema EPSG:3763, ETRS89 / Portugal TM06) M = -95 654, P = -112 947 e M = -95 294, P = -112 704 no seu extremo norte, na zona a este da Costa da Caparica até à arriba, e as coordenadas M = -93 258, P = -117 117 em Vale de Cavala, no seu extremo sul. É abrangida pela carta militar, à escala 1:25 000, 442 – Barreiro. A carta geológica à escala 1:50 000 que cobre a zona de estudo é a 34-D – Lisboa.



Figura 1.1 – Localização da área de estudo (definida a vermelho)

A área de estudo onde se pretende instalar um Agroparque tem um passado de significativa ocupação agrícola. O objetivo global do estudo é analisar a sustentabilidade quantitativa e qualitativa das águas subterrâneas associadas ao Agroparque das TC e identificar soluções inovadoras e baseadas na natureza para minimizar/resolver os problemas identificados, integrando-as num conceito mais vasto de sustentabilidade dos recursos hídricos desta área do concelho de Almada.

A Fase 1 do estudo incluiu as seguintes etapas:

1. Analisar e informatizar a informação disponível em estudos anteriores.
2. Levantar o estado de conservação dos cerca de 70 poços/furos identificados como pertencentes ao aquífero arenoso das TC, medir os níveis piezométricos e procurar obter informação relativa ao seu uso e aos volumes extraídos.
3. Selecionar um conjunto de cerca de 30 poços/furos para monitorização e amostragem de água em dois períodos distintos.
4. Realizar duas campanhas de amostragem de água para recolha de 30 amostras representativas em cada campanha para a análise da qualidade das águas relativa aos seguintes parâmetros: iões maiores - cloretos, bicarbonatos, sulfatos, nitratos, sódio, cálcio, potássio, magnésio; metais - cádmio, chumbo, cobre, crómio, ferro, lítio, níquel, vanádio, zinco; 15 pesticidas (definidos em função das aplicações agrícolas); Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTP) e 16 Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP). Em cada campanha fazer também a medição dos níveis piezométricos e de parâmetros *on-site* (temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica).
5. Colocar sondas do LNEC para medição contínua do nível piezométrico, condutividade elétrica e temperatura, durante cerca de um mês, para fazer a análise da influência da maré na qualidade das águas subterrâneas e auxiliar na análise de processos de intrusão marinha.
6. Caracterizar a recarga anual das águas subterrâneas utilizando modelos de balanço hídrico sequencial diário a nível do solo desenvolvidos no LNEC.
7. Caracterizar os volumes de água extraídos a partir de informação bibliográfica, de inquéritos aos donos dos poços/furos e/ou por estimativa.
8. Fazer uma avaliação da qualidade das águas subterrâneas com base nos resultados obtidos nas duas campanhas, analisar a sua evolução relativamente aos estudos anteriores e avaliar a adequabilidade química da água para uso agrícola.
9. Fazer uma análise do balanço hídrico anual entre a recarga natural das águas subterrâneas face aos volumes extraídos e, assim, avaliar a sustentabilidade de exploração deste recurso a médio prazo.
10. Redigir o relatório da Fase 1.

A Fase 2 do estudo inclui as seguintes etapas:

1. Identificar ações de controlo da contaminação na fonte (*e.g.* melhoria das práticas agrícolas, com menos uso de fertilizantes e pesticidas, diminuição dos volumes de água usados).

2. Identificar os furos que estejam a captar em dois níveis, cuja captação deve ser isolada para evitar contaminar as águas subterrâneas profundas.

3. Elaborar modelo numérico do aquífero das TC para:

a) simular cenários de implicações das alterações climáticas na precipitação, evapotranspiração e recarga e, assim, a sustentabilidade a médio prazo das águas subterrâneas;

b) simular os efeitos das soluções de melhoria da qualidade da água [*e.g.* o uso de bacias de infiltração e tratamento passivo (SAT-MAR, *soil-aquifer treatment for Managed Aquifer Recharge*) usando água de cheias vinda das ribeiras] na diluição da contaminação das águas subterrâneas e no aumento do volume das águas do aquífero das TC, bem como a análise do efeito barreira para impedir a intrusão marinha e a redução do efeito das cheias a jusante.

4. Redigir o relatório final do estudo.

Para o estudo da recarga das águas subterrâneas e a realização do modelo numérico de escoamento subterrâneo considerou-se uma área de estudo mais abrangente, delimitada pela totalidade da bacia hidrográfica que drena as ribeiras da Costa dentro do concelho de Almada, enquadrada pelas cartas já referidas para as TC e também pelas cartas militares 441-B – Costa da Caparica e 453 – Fernão Ferro (Seixal), e pelas cartas geológicas 34-C – Cascais e 38-B – Setúbal.

2 | Informação disponível de estudos anteriores e caracterização geral da área de estudo

2.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma caracterização geral da área de estudo, com base na informação disponível em estudos anteriores. Esta caracterização serve de ponto de partida para as restantes etapas deste estudo, apresentadas nos capítulos seguintes, tendo sido, nalguns casos, atualizada, reavaliada e adaptada. Nalguns tópicos, esta súmula corresponde a uma área mais extensa do que a área em estudo das Terras da Costa.

2.2 Clima

O concelho de Almada pertence à região climática de tipo marítimo de transição, caracterizada por um clima temperado húmido e moderadamente chuvoso, com uma estação fria e chuvosa e outra quente e seca, separadas por breves períodos de transição do outono e da primavera (Daveau, in Simões, 2004). Segundo a classificação de Koppen, a zona litoral pertence à área climatológica Csb, que se traduz por invernos chuvosos e verões secos e pouco quentes (Ferreira, 2012).

O estudo da Adaptação às Alterações Climáticas da Área Metropolitana de Lisboa – PMAAC-AML (CEDRU *et al.*, 2018) caracterizou o clima atual usando para a temperatura a série climática 1971-2000 obtendo, para a totalidade da Península de Setúbal, uma temperatura média do mês mais quente de 22 ºC, com valores de temperatura máxima média do mês mais quente na ordem dos 25 a 27 ºC e temperatura mínima média do mês mais frio de 7 a 8 ºC. A análise para o período de referência 1971-2000 mostra pouca alteração nas temperaturas máximas de verão e mínimas de inverno face aos valores do período 1961-1971.

No verão, os ventos são sobretudo de N, com velocidades que podem ultrapassar os 40 km/h, sendo muito frequentes nas zonas próximas do oceano. No inverno predominam os ventos de SW e NE, secundados pelos de W e N, sendo em regra mais intensos, associando-se a chuvas abundantes (Reis e Gonçalves, 1981 in Simões, 2004).

A precipitação do concelho de Almada é condicionada pela escarpa de Almada/Trafaria e pela Arriba Fóssil da Costa de Caparica, apresentando um valor médio de 730 mm/ano (Daveau, in Simões, 2004). Contudo, Caria *et al.* (2013) calculam para o concelho uma precipitação média de 643 mm/ano, relativa ao período de 1981 a 2011. CEDRU *et al.* (2018) caracterizam a precipitação anual entre os 650 e 700 mm para a totalidade da Península de Setúbal. De acordo com os primeiros autores, os valores máximos de precipitação ocorrem em janeiro (cerca de 115 mm) a que se segue a precipitação nos meses de novembro, dezembro, fevereiro e março, com valores mensais da ordem dos 100 mm.

No estudo PMAAC-AML (CEDRU *et al.*, 2018), as tendências de evolução recente da temperatura e precipitação, relativas ao período de 1971-2016 (exceto no caso da precipitação em que se utilizou o período 1971-2003) mostram, para a generalidade da área metropolitana de Lisboa:

- Aumento significativo da temperatura mínima – maior na primavera (valores entre +0,63 e +1,04º C/década) e no verão (entre +0,46 e +0,97 ºC/década) sendo de +0,77 ºC e +0,65/década, respetivamente na primavera e no verão, na Península de Setúbal; no inverno, para a Península de Setúbal o aumento é de +0,42ºC/década. Os maiores aumentos ocorrem em maio e junho.
- Aumento significativo da temperatura máxima, embora menor do que o da temperatura mínima – na primavera o aumento é de 0,57 a 0,64 ºC/década e no verão é de +0,35 a +0,45 ºC/década, com valores, na primavera, de +0,57 ºC/década na Península de Setúbal e, no verão, de +0,45 ºC/década também na Península de Setúbal.
- Aumento da temperatura média anual – entre +0,23 e +0,48 ºC/década em toda a AML, tendo as zonas litorais os menores aumentos.
- Aumento da temperatura média de primavera – entre +0,38 e +0,71 ºC/década para a generalidade da AML.
- Aumento da temperatura média de verão – valores entre +0,46 a +0,70 ºC/década para a generalidade da AML.
- Aumento de temperatura média nos meses de abril, maio, junho, julho e agosto em toda a AML, ocorrendo os maiores aumentos em maio e junho.
- As zonas litorais têm aumentos de temperatura menos acentuados.
- Aumento da precipitação anual – na Península de Setúbal é da ordem dos +67 mm/década.
- Aumento da precipitação de outono – entre +40 e +60 mm/década, ocorrendo os maiores aumentos nos meses de setembro e outubro.

2.3 Hidrologia e topografia

O concelho de Almada apresenta diversas pequenas bacias hidrográficas (Figura 2.1) que, no seu conjunto, têm um baixo escoamento superficial alimentado em grande medida pelas águas subterrâneas, cuja contribuição é variável ao longo do ano, mas suficiente para manter os caudais durante todo o ano (Simões, 2004). Esta alimentação ocorre porque as superfícies piezométricas das unidades aquíferas mais superficiais são intercetadas pelas linhas de água ou porque existem fraturas no leito das ribeiras que funcionam como zonas de descarga de unidades aquíferas mais profundas.

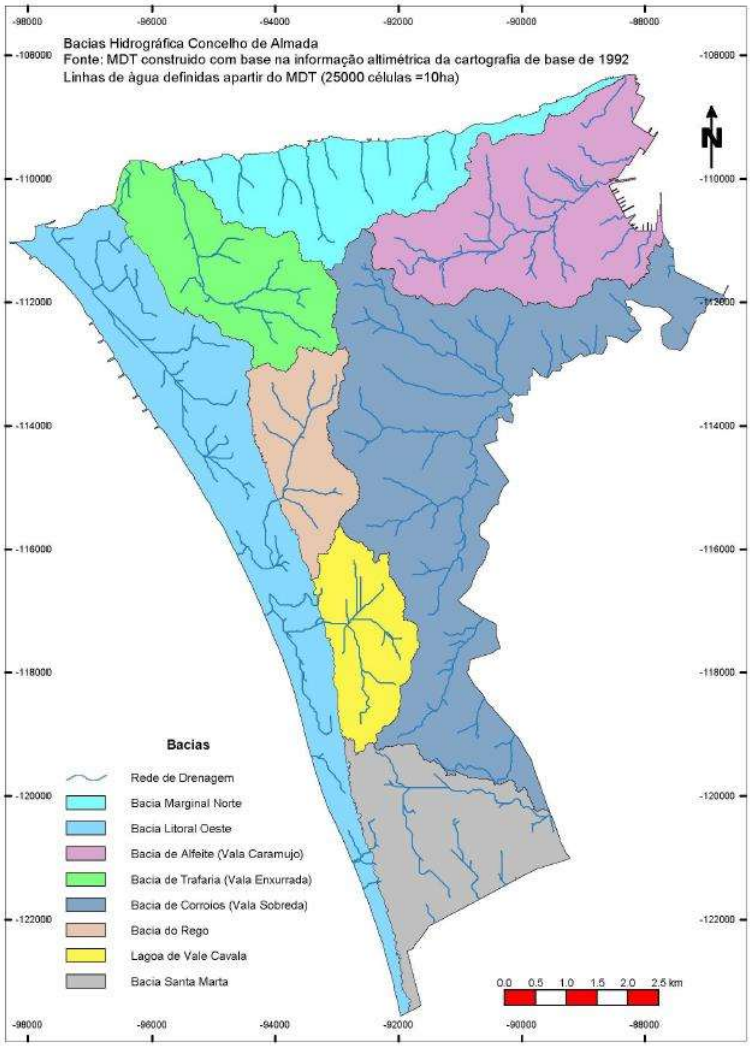


Figura 2.1 – Bacias hidrográficas e rede de drenagem do concelho de Almada (Fonte: Simões, 2004)

Conforme ilustra a Figura 2.1, Simões (2004) definiu oito bacias hidrográficas com base no modelo digital de terreno, cartografia de base do concelho de 1992 e argumentos hidrogeológicos e geomorfológicos. Os limites destas bacias relacionam-se fortemente com limites das unidades litoestratigráficas, condicionando de forma significativa os valores de recarga por bacia. A correspondência de litologias para algumas das bacias hidrográficas é resumida do seguinte modo (Simões, 2004):

- Bacia Marginal Norte – coincide praticamente com o afloramento dos calcarenitos miocénicos.
- Bacia da Vala do Caramujo – é ocupada por afloramentos de unidades margosas.
- Bacia da Vala da Enxurrada – tem a maior diversidade litológica, nela ocorrendo areias, argilas, margas e calcarenitos.
- Bacia de Corroios – maioritariamente arenítica, terá taxa de infiltração da ordem dos 30%.
- Bacia do Rego – similar à Vala da Enxurrada em termos de diversidade litológica.
- Bacia Litoral Oeste – constituindo-se, na sua maior parte, por areias dunares é definida numa faixa litoral circunscrita entre a arriba fóssil da Costa da Caparica e o oceano.

A área de estudo mais abrangente, utilizada no cálculo da recarga das águas subterrâneas (capítulo 6 |), e parcialmente no modelo numérico de escoamento (secção 10.4), corresponde aproximadamente à aglutinação das bacias hidrográficas “Bacia Litoral Oeste”, “Bacia do Rego” e “Bacia de Lagoa de Vale Cavala” referidas na Figura 2.1.

A área de estudo do Agroparque das Terras da Costa está integrada na Bacia Litoral Oeste (Figura 2.2). Topograficamente, esta bacia apresenta uma zona aplanada a Oeste, encaixada entre a linha de costa e a base da arriba fóssil da Costa da Caparica com cotas a variar entre 0 e 25 m, aumentando abruptamente na zona da arriba para, no topo desta, apresentar cotas entre 50 e 125 m. A rede hidrográfica desta bacia é pouco desenvolvida com linhas de água de curta extensão e de regime essencialmente torrencial. Dadas as características geológicas do terreno, que serão abordadas nas próximas secções, a infiltração faz-se de forma rápida, sendo as massas de água superficial pouco relevantes na área de estudo. Esta área é atravessada pela ribeira da Foz do Rego que se desenvolve no topo da arriba com orientação NE-SW e que desagua no mar entre a Praia da Rainha e a Praia da Riviera.

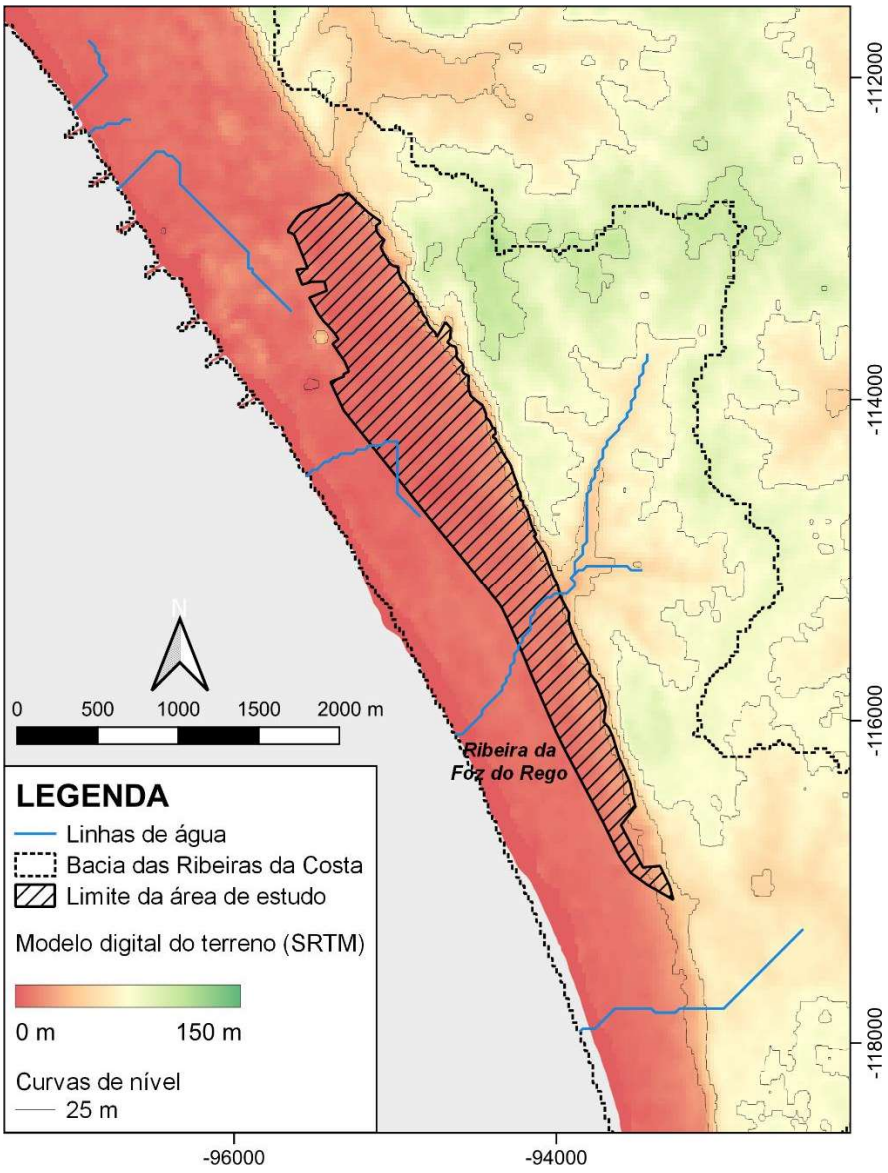


Figura 2.2 – Bacia hidrográfica e topografia da área de estudo

2.4 Ocupação do solo

Esta secção de enquadramento da ocupação do solo foi desenvolvida de raiz para este estudo. Para a caracterização da ocupação do solo utilizaram-se duas fontes de informação. Para a generalidade da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada utilizou-se a cartografia do Corine Land Cover 2018 (extraída de https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download, em 2023-01-23). Para a área mais específica do Agroparque das Terras da Costa, por ser mais pormenorizada, utilizou-se a Cartografia de Ocupação do Solo (COS) referente ao ano de 2018 (extraída de https://dados.gov.pt/pt/datasets/carta-de-uso-e-ocupacao-do-solo-2018/#resources em 2024-07-08).

Em termos de uso e ocupação do solo, a bacia hidrográfica em que se insere a área de estudo das Terras da Costa é, conforme a cartografia CORINE Land Cover 2018, maioritariamente ocupada por tecido urbano descontínuo (24%) seguido de florestas de resinosas (20%), matos e sistemas culturais e parcelares complexos (11% cada) e zonas de praia e areais (10%) – Figura 2.4.

Para além dos sistemas culturais e parcelares complexos (pequenas parcelas compostas por diversas culturas, pastagens ou culturas permanentes, partilhando as áreas cultivadas com edifícios dispersos que ocupam menos de 30% da superfície total), as áreas agrícolas são ainda compostas em 2% por pastagens permanentes e 1% por agricultura com espaços naturais e seminaturais.

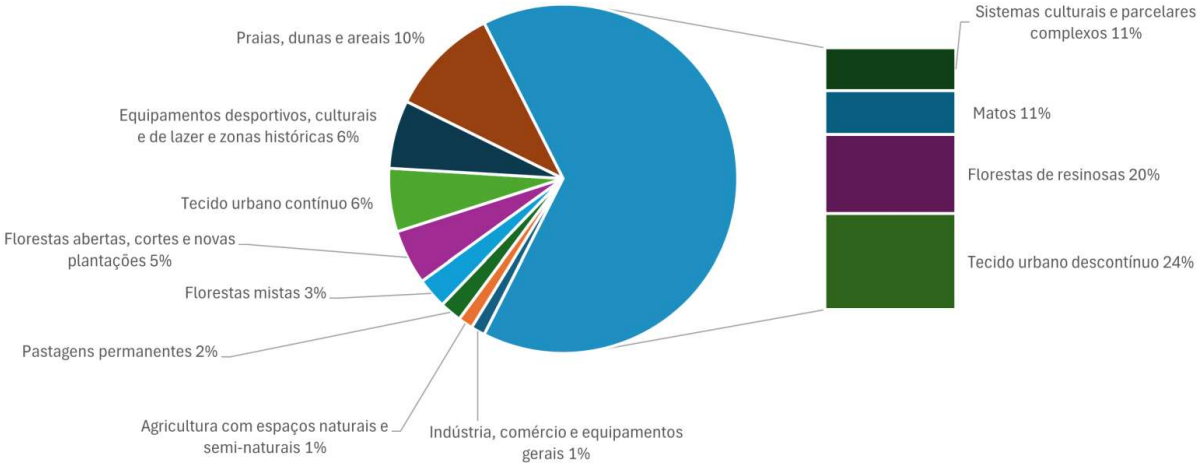


Figura 2.3 – Tipos de ocupação do solo na bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada, conforme a cartografia CORINE Land Cover 2018

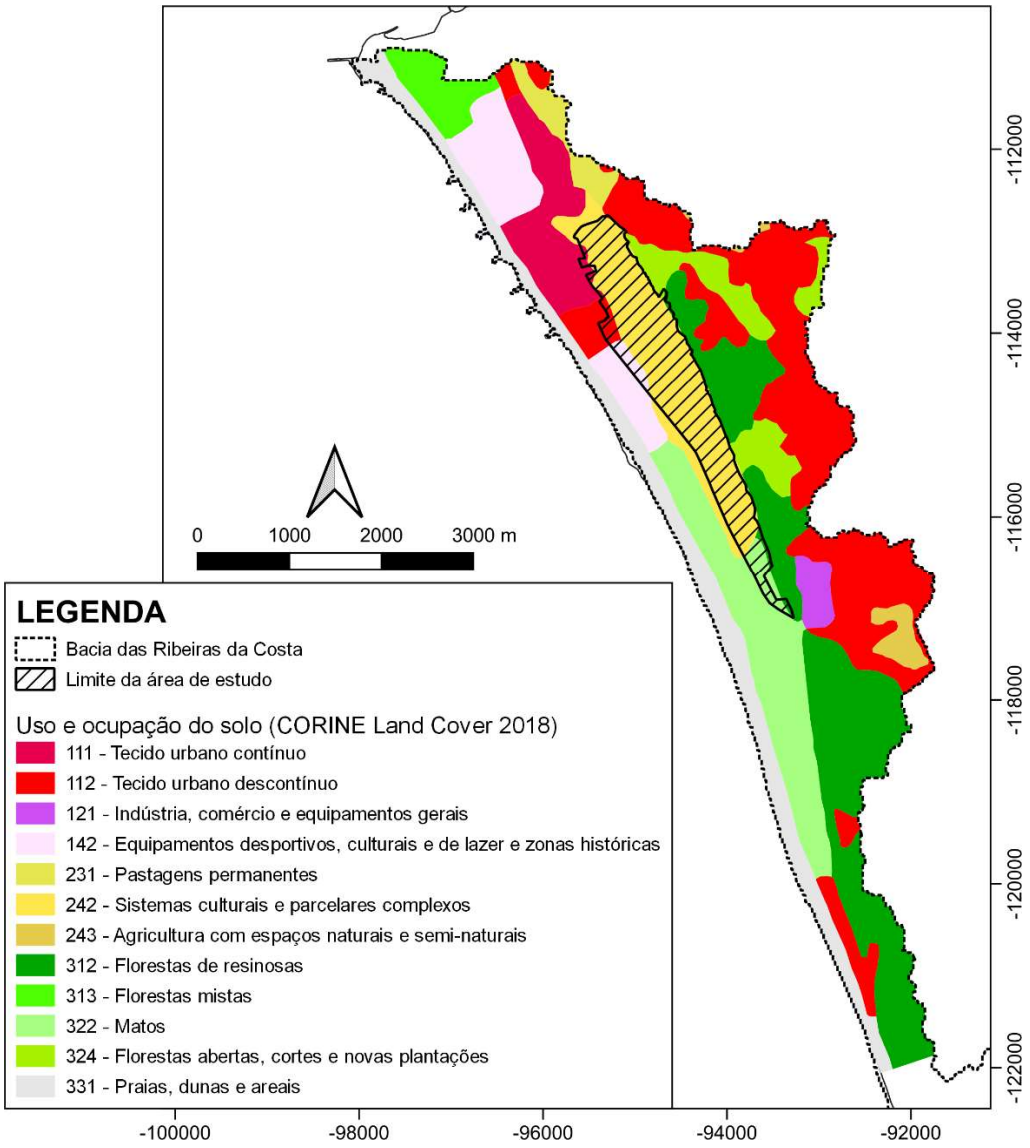


Figura 2.4 – Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada (CORINE Land Cover 2018)

Em contraste, nas Terras da Costa predominam três tipos de ocupação do solo (Figura 2.5): (1) áreas agrícolas; (2) edificado disperso e turístico, e (3) florestas e matos. Segundo a Cartografia de Ocupação do Solo (COS) referente ao ano de 2018, a área de estudo é sobretudo ocupada por culturas temporárias de sequeiro e regadio (67%) seguida por florestas de espécies invasoras (13%). As superfícies florestais estão presentes essencialmente na parte sul da área das Terras da Costa e as zonas de matos localizam-se distribuídas ao longo do limite E, na base da arriba fóssil. A componente edificada, que inclui tecido edificado contínuo (predominantemente horizontal e vertical) e descontínuo, constitui 11% da área total.

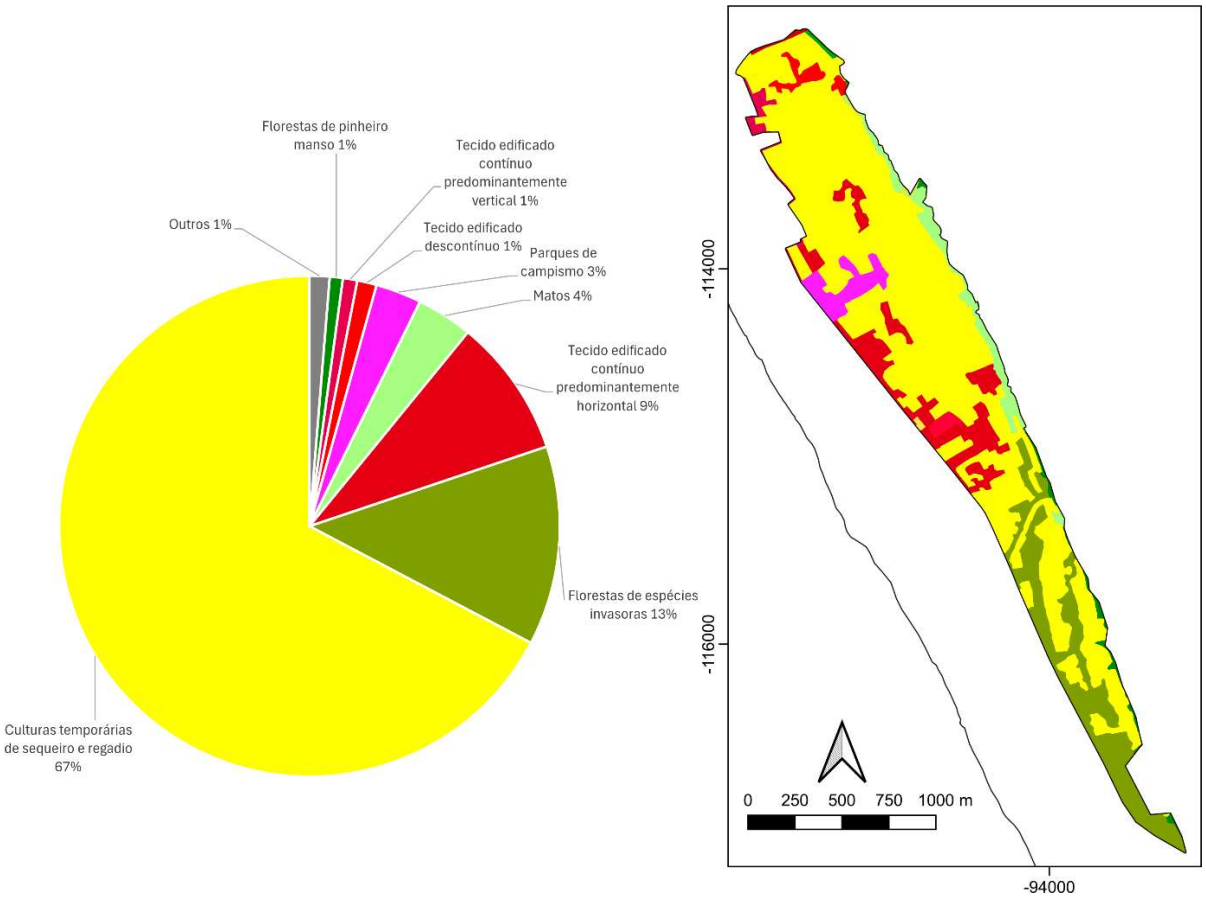


Figura 2.5 – Uso e ocupação da área de estudo das Terras da Costa (Carta Ocupação do Solo, 2018)

O Mapa Anual de Culturas Temporárias referente ao ano 2023 (MACAT 2023, Direção Geral do Território) mostra que as áreas agrícolas das Terras da Costa são usadas para o cultivo de couve, abóboras e aboborinhas, outras hortícolas, aveia, azevém, milho e em algumas parcelas trigo e cevada.

2.5 Geologia

De acordo com a cartografia geológica, produzida pelo atual Laboratório Nacional de Energia e Geologia (cf. https://geoportal.lneg.pt/pt/dados_abertos/cartografia_geologica/cgp50k/), o concelho de Almada localiza-se na bacia sedimentar terciária do Tejo, sendo constituído por uma sucessão de sedimentos de natureza variada, designadamente calcários, margas, calcarenitos, argilas, areias, siltes e conglomerados, da idade do Miocénico, Plio-Plistocénico e Quaternário (ver mapa na Figura 2.6 e respetiva legenda na Figura 2.7).

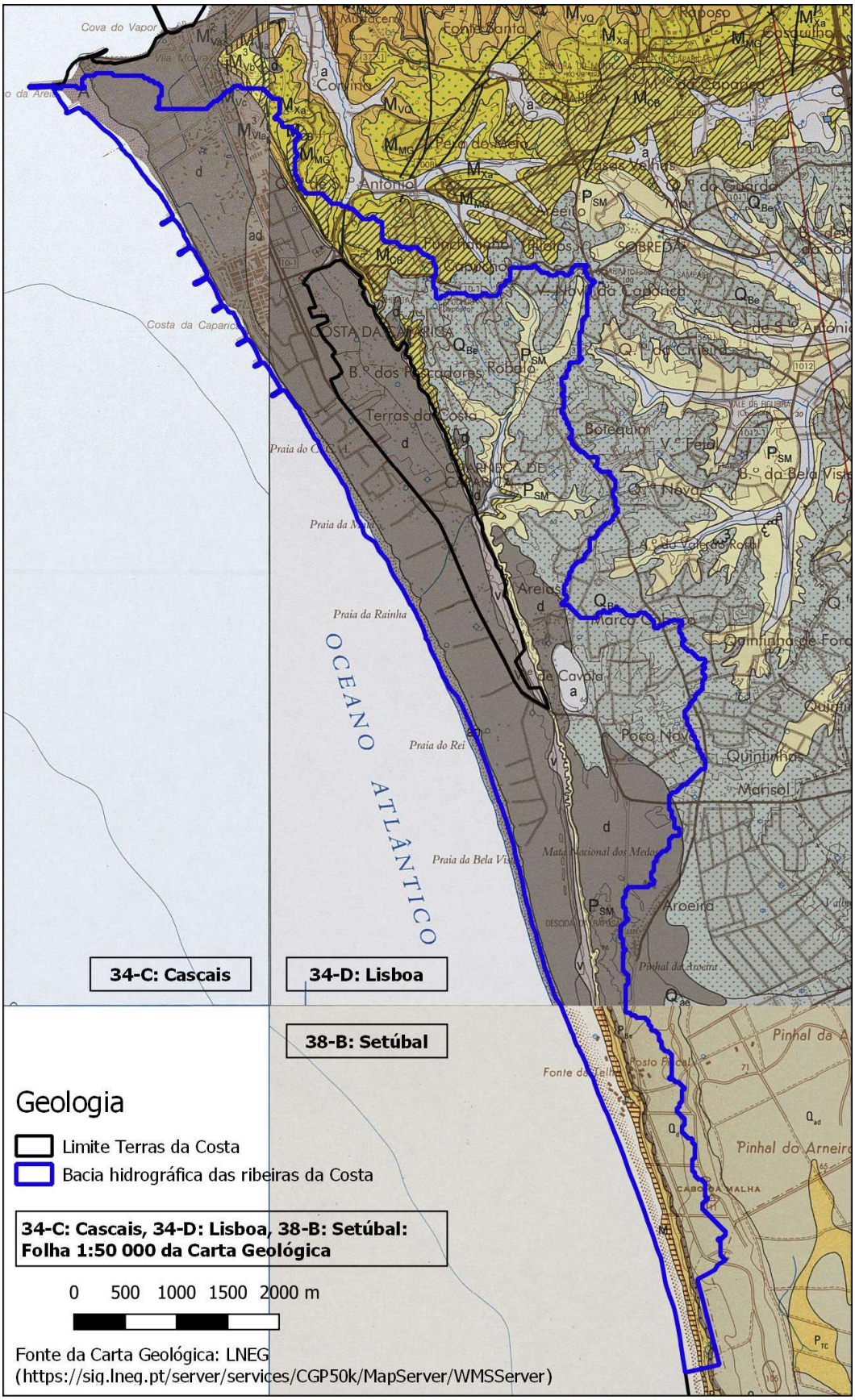
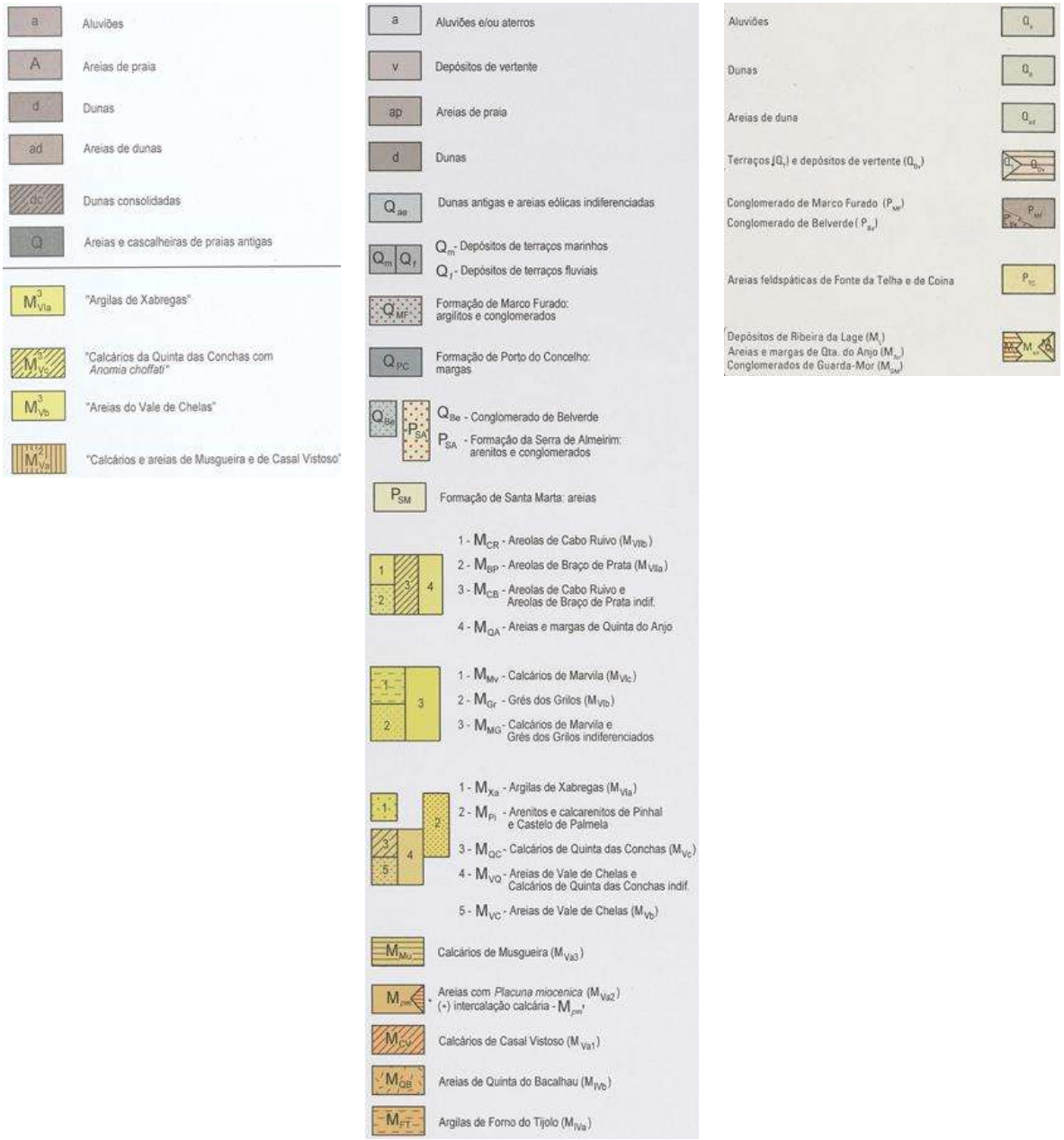


Figura 2.6 – Enquadramento geológico

Folha 34-C: Cascais **Folha 34-D: Lisboa** **Folha 38-B: Setúbal**



(Fonte: Geoportal do LNEG: https://geoportal.lneg.pt/pt/dados_abertos/cartografia_geologica/cgp50k/)

Figura 2.7 – Legenda do enquadramento geológico

O Miocénico aflora ao longo da zona N do concelho, numa faixa entre Cova da Piedade, Cacilhas e Foz do Rego, surgindo na zona Norte da área de estudo. Aflora ainda ao longo da escarpa da arriba fóssil da Costa da Caparica (que apresenta 50 a 80 m de altura), estando representado pelas areolas de Cabo Ruivo e Braço de Prata indiferenciadas. Predominam as unidades de siltes e argilas, ocorrendo ainda unidades arenosas finas a grosseiras, às vezes calcareníticas.

O Pliocénico aflora a S de uma linha E-W definida pelas povoações de Capuchos, Areeiro, Mor e Barrocas, estando em grande medida coberto pelas unidades quaternárias. A maior extensão de afloramentos pliocénicos ocorre nos vales das ribeiras de Corroios e Santa Marta, havendo também

uma pequena faixa de afloramento no topo da arriba fóssil da Costa da Caparica para S da Charneca da Caparica. As unidades Pliocénicas são constituídas por areias com intercalações argilosas da Formação de Santa Marta, de acordo com a Folha 34-D da Carta Geológica de Portugal, formando uma espessa série essencialmente arenosa (Azevedo, 1982 in Ferreira, 2012).

Os depósitos quaternários de idade plistocénica que afloram na área de estudo são sobretudo os depósitos de vertente (sitos na base da arriba fóssil), areias de duna e de praia, que dominam a zona litoral onde está inserida. As dunas estendem-se da base da arriba fóssil até ao mar e têm espessuras médias de 18 a 20 m. Subjacente aos depósitos da zona litoral encontram-se as unidades de argilas e margas do Miocénico (Ferreira, 2012).

Estas formações encontram-se fraturadas, sendo as orientações da fraturação NE-SW, aproximadamente N-S e ao longo do litoral da Costa da Caparica. Os trabalhos de prospeção geofísica de Ferreira (2012) ao longo do litoral da Costa da Caparica sugerem, ainda, a presença de uma possível fratura de orientação aproximadamente NW-SE. Esta fraturação terá importância hidrogeológica, podendo funcionar como zona de descarga de aquíferos inferiores, as quais alimentam o aquífero superficial desenvolvido nos depósitos litorais, dando origem a nascentes e captações de produtividade significativa (Simões, 2004; Ferreira, 2012). Uma síntese dos resultados da prospeção geofísica referida é apresentada no Anexo I.

2.6 Hidrogeologia

2.6.1 Caracterização geral dos aquíferos

Em termos hidrogeológicos, a área em estudo encontra-se na bordadura ocidental do sistema aquífero Tejo-Sado Margem Esquerda. Este é um sistema aquífero multicamada, definido por uma sucessão de camadas permeáveis separadas por aquitardos, o que dá ao conjunto um comportamento variável, com unidades aquíferas livres, semiconfinadas e confinadas. Esta complexidade é condicionada pelas frequentes variações laterais e verticais de fácies litológicas, a que se associa uma complexidade estrutural (Almeida *et al.*, 2000), de que o sinclinal de Albufeira e a significativa fracturação são os elementos mais relevantes.

Estes acidentes tectónicos induzem alterações relevantes no fluxo regional, estando as zonas fraturadas associadas a alinhamentos de nascentes e alimentação dos aquíferos superiores por águas vindas dos aquíferos inferiores e infiltradas a grande distância destas nascentes e poços (Simões, 2004). A forte fraturação é visível na escarpa litoral entre Cacilhas e Trafaria e na arriba do litoral oeste, entre Costa de Caparica e Foz do Rego e na Fonte da Telha (Simões, 2004). Alguma desta fraturação pode, na zona litoral, estar encoberta pelos depósitos dunares, como parece sugerir o trabalho de prospeção geofísica realizado por Ferreira (2012).

Simplificadamente, pode considerar-se a presença de um aquífero livre superficial, desenvolvido nas camadas do topo do Pliocénico e nos depósitos detríticos mais recentes. Este aquífero sobrepõe-se a

um aquífero confinado, multicamada instalado nas camadas da base do Pliocénico e nas camadas do Miocénico Superior (Almeida *et al.*, 2000).

Simões (2004) definiu três grandes unidades aquíferas: (1) Miocénico, (2) Plio-Plistocénico, e (3) Dunas e areias de praia.

(1) O Miocénico, que apresenta uma espessura aproximada de 257 metros, é dominado por areias finas e siltosas e depósitos calcareníticos, intercalados com níveis de argilas e siltes, o que lhe confere uma baixa aptidão aquífera (Simões, 2204). Segundo a mesma autora, a recarga ocorre nos afloramentos das unidades arenosas e calcareníticas, as quais definem níveis produtivos de pequena espessura e extensão que, embora mais produtivos do que as litologias envolventes, são ainda assim de produtividade baixa. Estes níveis deverão possuir baixos coeficientes de armazenamento, permeabilidades e transmissividades (Simões, 2004). Globalmente, podem definir-se três unidades mais permeáveis, intercaladas por camadas impermeáveis a semipermeáveis – que em certas condições podem recarregar verticalmente as unidades aquíferas – e que podem constituir aquíferos locais, cuja extensão depende das importantes variações laterais de fácies (Simões, 2004). Estas unidades mais permeáveis são as seguintes, da base para o topo, conforme descrição de Simões (2004):

- Alternâncias de areias e calcarenitos de média produtividade – depósitos areno-siltosos micáceos e calcarenitos com intercalações fossilíferas, aflorantes entre Arialva e Trafaria ao nível do rio Tejo. Estão em conexão hidráulica com este rio e têm espessuras até um máximo de 29 m. A recarga resulta da infiltração do rio Tejo na zona de afloramento destas unidades. O fluxo é para SE, seguindo a inclinação dos estratos. Admitindo-se que estas litologias se assemelhem nos seus parâmetros hidrodinâmicos às areolas da Estefânia na região de Lisboa. A permeabilidade será da ordem dos 1,06 m/dia e a transmissividade de cerca 30 m^2/dia. Se se considerar uma porosidade de cerca 10%, o armazenamento será de 2,9 hm^3/km^2 de extensão aquífera. As águas deste aquífero são de má qualidade, visto a ligação ao rio permitir a infiltração de águas salobras.
- Alternâncias de areias, calcários e calcarenitos de média a baixa produtividade – unidades de areias e calcarenitos afloram na escarpa entre Cacilhas e Trafaria, entre a meia encosta e o topo do talude. Afloram também na arriba fóssil, São João de Caparica, constituindo o topo deste aquífero grande parte da escarpa. Para sul, estes depósitos afloram a cotas inferiores. Formam uma unidade aquífera com cerca de 70 m de espessura máxima, de comportamento livre nos locais de afloramento, passando a confinado para o interior da bacia, devido à inclinação das camadas para SE e à cobertura por depósitos margosos. A recarga depende essencialmente da precipitação, estando condicionada pelas áreas de afloramento. Deverá ter baixa permeabilidade e armazenamento inferior a 10 %. Grande parte dos poços situados ao longo da faixa periférica N e W explora este aquífero. Em condições naturais (não contaminação) as suas águas são de boa qualidade. A condutividade elétrica varia entre 300 µS/cm e 600 µS/cm.
- Alternâncias de areias finas siltosas e calcarenitos de baixa produtividade – esta unidade de areias finas siltosas com intercalações argilosas, de espessura inferior a 15 m, forma relevante

aquitardo na base do aquífero pliocénico. A recarga faz-se ao longo dos afloramentos no topo da arriba fóssil entre Alpenas e a via rápida, nas áreas da Cova da Piedade, Costa de Caparica e Sobreda.

(2) O Plio-Plistocénico apresenta um aquífero confinado multicamada, situado nas suas camadas basais e um aquífero livre nas suas camadas de topo. Simões (2004) descreve as unidades plio-plistocénicas como sendo areias no geral arcósicas, de granulometria fina a grosseira, intercaladas por níveis argilosos de espessura variável. Sobre as unidades pliocénicas surge o conglomerado de Belverde (do Plistocénico), constituído por níveis de sedimentos grosseiros intercalados com depósitos arenosos mais finos. Estes depósitos, com uma espessura média inferior a 130 m, formam o aquífero mais importante da margem sul do Tejo, o qual abastece os consumos da zona metropolitana sul de Lisboa (Simões, 2004). Ainda segundo a mesma autora, a permeabilidade varia entre 8 m/dia e 85 m/dia, com um valor médio de 43 m/d, a transmissividade média é de 5509 m^2/dia e o armazenamento máximo de 39 hm^3/km^2 de extensão aquífera, para uma porosidade média de 30%. Os parâmetros hidráulicos destes aquíferos são os seguintes (Simões, 2004):
   - Camadas superiores – estendendo-se até aos 80 m de profundidade, constituem os níveis mais permeáveis, apresentando permeabilidades da ordem dos 60 m/d ou superiores.
   - Camadas inferiores – ocorrendo entre 80 e 130 m de profundidade, têm permeabilidades maioritariamente da ordem dos 25 m/dia.

(3) Segundo Simões (2004), os depósitos quaternários de dunas e areias de praia são areias desagregadas muito produtivas, que ocorrem a S e W do forte da Trafaria até à Cova do Vapor e ao longo do litoral W até ao Cabo Espichel numa extensão de 30 km; ocorrem também a E da Trafaria sob a escarpa da Boca do Vento, entre a Quinta da Arialva e a Ponte 25 de Abril e na desembocadura dos vales de Porto Brandão e Portinho da Costa. Incluem-se ainda nesta unidade os depósitos de vertente que ocorrem ao longo do talude marginal do Tejo e da arriba fóssil.

A área de estudo das Terras da Costa situa-se nestes depósitos de areias dunares e de praia que, misturados com depósitos de vertente da erosão da arriba fóssil, têm uma espessura média de cerca de 20 m (Simões, 2004). As areias de duna, de praia e depósitos de vertente estão, nesta região e em todo o restante litoral W, sobrejacentes a uma plataforma miocénica praticamente impermeável (Ferreira, 2012), a qual constitui a base da unidade aquífera definida por estas mesmas areias de praia, de duna e depósitos de vertente. Ambos os autores referem que esta unidade aquífera sofre, na bordadura com o oceano, mistura em proporções variáveis com a água do mar, que vão aumentando ao longo do verão. Tem permeabilidades e transmissividades elevadas, com valores médios de respetivamente de 600 m/dia e 12 000 m^2/dia (Simões, 2004), embora Simões (2011, in Ferreira, 2012) tenha referenciado valores entre 3,4 e 41,5 m/d e um valor médio de 23,5 m/d. Este aquífero é explorado por poços e furos, sendo a fonte de abastecimento da grande atividade agrícola local nas Terras da Costa.

Tipicamente, na área do concelho de Almada, as unidades aquíferas mais superficiais abastecem os poços mais superficiais (profundidades no geral inferiores a 10 m), assim como pequenas exsurgências (Simões, 2004). Ainda de acordo com a mesma autora, nas atuais condições de baixa extração (se se

excetuar a região das Terras da Costa) estes poços nunca secam. Existem, porém, poços muito profundos, com profundidades na ordem dos 50 m – e poços com furos, de acordo com o inventário fornecido pela Câmara Municipal de Almada para o presente estudo. Contudo, e ainda segundo Simões (2004), muitas vezes estas captações eram pouco produtivas ou mesmo improdutivas, dando a autora como exemplo alguns poços nas Terras da Costa, junto à arriba.

2.6.2 Hidrogeoquímica

Os trabalhos anteriores sobre a hidrogeoquímica da região foram apresentados em Simões (2004) e em Ferreira (2012), este último dedicado apenas à zona litoral oeste do concelho, numa área sensivelmente equivalente à analisada neste estudo, embora mais centrada na zona agrícola localizada mais a norte.

Apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos em Ferreira (2012), com base nos resultados das análises químicas de 16 amostras de água, que servirão de termo de comparação com os dados apresentados no presente estudo, embora não tenha sido possível identificar os pontos de amostragem utilizados devido à designação diferente e ao facto da sua localização não coincidir com os pontos identificados.

Na área litoral estudada por Ferreira (2012), este autor definiu que a maioria das 16 amostras de águas subterrâneas tinham fácies hidroquímica bicarbonatada a sulfatada cálcica (12 amostras) havendo, ainda, águas com fácies cloretada cálcica, sulfatada magnesiana-sódica (1 amostra), bicarbonatada magnesiana e cloretada-sulfatada cálcica (1 amostra de cada). O diagrama de Piper obtido por Ferreira (2012) para estas águas mostra concentrações muito semelhantes no respeitante aos catiões mas uma dispersão muito grande no que se refere aos aniões.

Os principais resultados sobre a hidroquímica das águas subterrâneas amostradas foram os seguintes (Ferreira, 2012):

- A condutividade elétrica (CE) mediana é de 1 359,5 µS/cm, sendo a média de 2 126,4 µS/cm, com uma tendência de valores mais elevados na área com maior atividade agrícola, o que concorda com o trabalho de Simões *et al.* (2011 in Ferreira, 2012). De acordo com Ferreira (2012), fora da área agrícola a dispersão de valores de CE é elevada.
- A dureza das águas tem uma mediana de 402,07 mg/L de $CaCO_3$ e uma média de 743,49 mg/L de $CaCO_3$, sendo a totalidade das águas classificadas como águas duras, segundo Custódio e Llamas (1983).
- A mediana da alcalinidade é de 301,5 mg/L e a média de 296,4 mg/L.
- O pH tem uma mediana de 7,25 e média de 7,35.
- O bicarbonato uma mediana de 361,58 mg/L e média de 367,8 mg/L.
- O cloreto apresenta uma mediana de 149,9 mg/L e média de 287,1 mg/L. De um modo geral, a variação espacial dos cloretos não apresenta um aumento em direção ao litoral. Ferreira (2012) considera que os valores da CE são dominantemente controlados pelas concentrações de cloretos, dada a semelhança de distribuição espacial dos cloretos e CE.
- A mediana do ião cálcio foi calculada em 138,4 mg/L e média em 257,7 mg/L (Ferreira, 2012).

- O ião sulfato tem uma mediana de 206,2 mg/L e média 425,8 mg/L, o que, segundo Ferreira (2012), parece estar associado à agricultura intensiva na zona.
- Os nitratos apresentam uma mediana de 160,9 mg/L e média de 246,1 mg/L de nitratos e, segundo Ferreira (2012), a sua distribuição espacial ilustra o tipo de uso do solo.
- O ião cálcio apresentou uma mediana de 138,4 mg/L e uma média de 48,8 mg/L.
- O sódio tem uma mediana que se cifrou nos 98,1 mg/L e uma média de 142,8 mg/L. Os pontos com as concentrações mais elevadas de sódio são também aqueles que apresentam valores elevados em cloretos e sulfatos, o que, segundo o mesmo autor, pode sugerir intrusão marinha ou contaminação por aerossóis marinhos.
- Relativamente ao ião potássio, o mesmo autor calculou uma mediana de 17,0 mg/L e uma média de 26,0 mg/L, enquanto para o ião magnésio a mediana é de 32,7 mg/L e a média de 55,6 mg/L, ocorrendo os maiores valores de magnésio nos pontos que apresentam também elevados teores de cálcio, cloreto, sódio e sulfato.

Da comparação entre as concentrações de cloretos na água doce e na água do mar, Simões (2004) calculou a percentagem de mistura com a água do mar tomando como referência as concentrações de cloreto na água do poço do Carrascalinho (C1), com 43,3 mg/L, e da água do mar na Costa de Caparica (C2), com 17910 mg/L. Com base na relação $rCl^-/rHCO_3^-$, Simões (2004) identificou água salobra, devida a mistura com águas do Tejo ou águas do mar, na zona das Terras da Costa. Quando se dá esta ocorrência, a relação $rCl^-/rHCO_3^-$ tem sempre valores superiores a 1, alcançando um máximo de 8,18 num poço das Terras da Costa (Simões, 2004). Esta autora considera aliás que a qualidade das águas no aquífero arenoso das Terras da Costa está em degradação progressiva devido à intrusão marinha. De acordo com esta autora, o aumento das extrações e a abertura de furos na base dos poços nas areias das Terras da Costa, causou desequilíbrios no potencial hidráulico e agravamento da degradação da qualidade físico-química da água, que se foi tornando mais salina. A expansão da área urbana tenderá a agravar este problema dado que a maior impermeabilização reduziu a recarga dos aquíferos (Simões, 2004). O balanço de cloretos calculado pela mesma autora indica que as águas dos poços superficiais usadas na rega são, em mais de 90% dos casos, resultado da infiltração da precipitação e da descarga de aquíferos mais profundos através de fraturas (estes dados não estão de acordo com as conclusões de autores posteriores ou deste estudo).

Para as águas do litoral da Costa da Caparica, Ferreira (2012), usando a abordagem de Appelo e Postma (1993), calculou a fração de água salgada (f_{mar}) nas amostras. Conclui que a grande maioria das águas apresentam valores inferiores a 2%, tendo as águas com maior fração de água salgada valores máximos de 5,5%. Este mesmo autor identificou uma boa correlação entre o ião Cl^- e a CE, o mesmo se verificando para o ião SO_4^{2-} vs CE, sugerindo que o grau de mineralização destas águas depende destes dois iões.

Ferreira (2012) analisou ainda a relação linear entre diversos iões, tendo registado uma boa correlação entre: 1) Na^+ vs Cl^-, sugerindo estes iões possam ter uma origem marinha, resultando de processos de contaminação do aquífero por água do mar, lavagem de depósitos marinhos ou efeito de aerossóis e

2) SO_4^{2-} e NO_3^-, sugerindo que a origem destes dois iões seja comum e provavelmente devida à contaminação agrícola.

Já a correlação entre os iões SO_4^{2-} e Cl^- e entre Br^- vs Cl^- afasta-se bastante da linha de mistura com a água do mar, sugerindo que o sulfato e brometos deverão ter uma origem distinta da água do mar.

As relações entre os iões HCO_3^- e Ca^{2+} e HCO_3^- vs Cl^- sugerem diferentes origens para estes iões e o facto de os valores de ião HCO_3^-, superiores aos da água do mar, apontam para que este ião tenha uma origem não marinha (Ferreira, 2012).

A boa correlação entre os iões Mg^{2+} e Ca^{2+} sugere uma mesma origem associada à natureza carbonatada de algumas areias e/ou à presença de fósseis de conchas nas formações aquíferas (Ferreira, 2012).

Ferreira (2012) calculou as relações rMg/rCa, rCl/rHCO e rK/rNa para as águas da zona litoral da Costa da Caparica. Os valores do índice rMg^{2+}/rCa^{2+} apontam para que as águas sejam de origem continental, o que é também indicado pelos valores do índice $rCl^-/rHCO_3^-$, com algumas exceções. Ferreira (2012) faz ainda notar que os valores obtidos para o índice rK^+/rNa^+ indicam igualmente que quase todos os valores analisados correspondem aos das águas doces.

Existindo um enriquecimento por sulfatos na maioria das águas analisadas por Ferreira (2012), este autor, admitindo a relação cloreto/sulfato da água do mar, considerou que o excesso de sulfatos nas águas terá origem antrópica. De acordo com este autor, as águas com concentrações mais elevadas de sulfatos situam-se em terrenos agrícolas, o que sugere o uso de fertilizantes como possível origem.

Ferreira (2012) calculou também os índices de saturação para a anidrite, aragonite, calcite, dolomite, fluorite, gesso e halite. Os resultados sugerem que as fases minerais passíveis de precipitar a partir das águas analisadas são a aragonite, calcite e dolomite e as fases minerais com possibilidade de serem dissolvidas são a anidrite, gesso e halite. Como todas as águas estão sobressaturadas em relação à calcite, aragonite e dolomite, Ferreira (2012) considera que estas deverão ter circulado em rochas carbonatadas miocénicas ou em areias com elementos carbonatados plisto-holocénicas.

As águas estão também subsaturadas em relação à halite, podendo o NaCl dissolvido ter origem na lavagem de terrenos derivados de litologias marinhas; já a forte subsaturação em anidrite sugere que os sulfatos devam resultar da simples adição deste anião (Ferreira, 2012) como seja por exemplo o uso de fertilizantes.

2.6.3 Isótopos

Segundo Ferreira (2012), e para as águas do litoral da Costa da Caparica, a projeção dos valores de $\delta^{18}O$ vs. δ^2H relativamente à reta mundial das águas meteóricas ($\delta^2H = 8 * \delta^{18}O + 10$; Craig, 1961) e à das águas meteóricas de Portugal Continental ($\delta^2H = 6{,}6 * \delta^{18}O + 3$; Carreira *et al.*, 2007), indicia que as águas do litoral da Costa da Caparica provêm da precipitação, e que o enriquecimento em δ^2H relativamente à reta das águas meteórica de Portugal pode dever-se ao facto da zona estudada estar numa zona litoral.

A relação δ^2H vs. altitude de recarga e $\delta^{18}O$ vs. altitude de recarga indiciam que as águas têm recargas a baixas altitudes, eventualmente até ao nível local, ou a altitudes variáveis de recarga e/ou mistura de águas a diferentes altitudes (Ferreira, 2012).

2.6.4 Efeito de maré

A análise da variação dos níveis piezométricos em função da maré nas captações do litoral da Costa da Caparica realizada por Ferreira (2012), refere que instrumentou três pontos de águas subterrâneas, F3A, P12A e P17A (Figura 2.8), com sondas de medição contínua do nível piezométrico, no período entre 25/11/2011 e 12/12/2011. As captações localizam-se no sopé da arriba fóssil e a sua distância à linha de costa é de cerca de 800 m (F3A), 500 m (P12A) e 600 m (P17A).

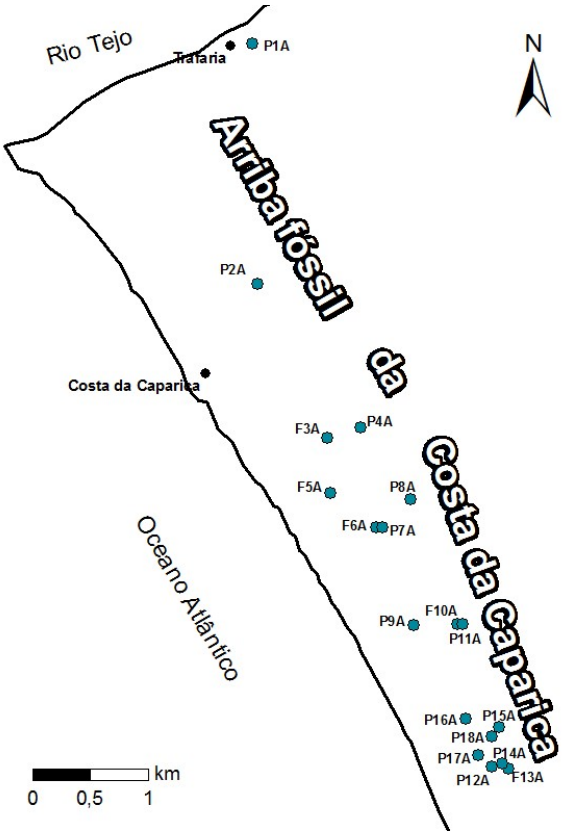


Figura 2.8 – Localização das captações consideradas no estudo desenvolvido por Ferreira (2012)

As Figura 2.9, Figura 2.10 e Figura 2.11 apresentam a oscilação dos níveis piezométricos nestes pontos. Como estas figuras ilustram, não ocorrem oscilações elevadas dos níveis piezométricos em função da variação das alturas da maré (6 em 6 horas) e, de acordo com o autor citado, as oscilações registadas no ponto F3A devem-se a vários episódios de extração de água.

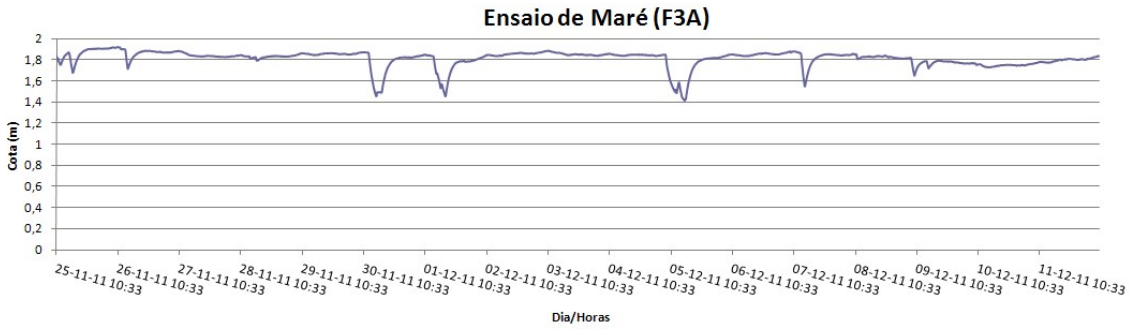


Figura 2.9 – Oscilação do nível piezométrico no ponto F3A (Fonte: Ferreira, 2012)

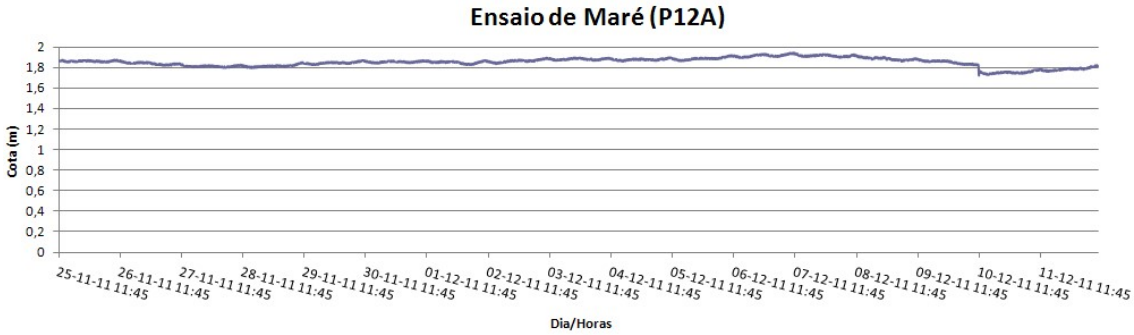


Figura 2.10 – Oscilação do nível piezométrico no ponto P12A (Fonte: Ferreira, 2012)

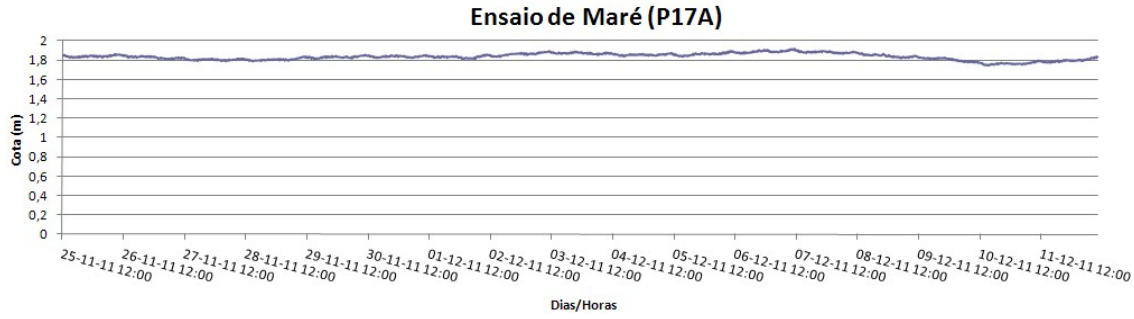


Figura 2.11 – Oscilação do nível piezométrico no ponto P17A (Fonte: Ferreira, 2012)

2.6.5 Recarga de aquíferos

Simões (2004) assumiu taxas de infiltração em função das formações geológicas existentes em cada bacia hidrográfica (representadas na Figura 2.1) estimando os volumes de infiltração nas bacias do concelho de Almada multiplicando a precipitação média anual pela área da bacia e pela taxa de infiltração. Os volumes obtidos são reproduzidos no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Taxas de infiltração e volumes infiltrados (Fonte: Simões, 2004)

Bacia	Área (km^2)	Precipitação média anual (mm)	Taxa de infiltração (%)	Volume infiltrado (hm^3/ano)
Marginal Norte	7,434	731	9	0,4890
Litoral Oeste/Terras da Costa (areias dunares)	13,704	731	70	7,0123

Vala do Caramujo (ou do Alfeite)	9,121	731	2	0,1333
Vale da Enxurrada (ou da Trafaria)	6,087	731	12	0,5339
Corroios e Santa Marta (Vala da Sobreda)	27,548	731	30	3,8482
Ribeira do Rego	3,868	731	12	0,3393
Vale de Cavala (Charneca)	2,671	731	30	0,5857
Total	-	-	-	15,1348

Caria *et al.* (2013), usando o modelo BALSEQ_MOD (que se vai utilizar também neste estudo – cf. secção 6 |), determinaram as distribuições do escoamento anual médio, evapotranspiração real e recarga (cf. Figura 2.12) para o concelho de Almada, utilizando uma série de dados diários de 30 anos, de 1981/10/01 a 2011/09/30. Estes autores calcularam uma taxa de infiltração média anual para o concelho de 11%, sendo o valor máximo de 50%, considerando uma precipitação anual média de 643 mm/ano. Contudo, em 23 % da área do concelho não foi estimada recarga, nuns casos devido a terem considerado que todo o solo se encontrava impermeabilizado (áreas urbanas), noutros por não haver informação sobre os solos presentes. Nas Terras da Costa, a taxa de recarga encontra-se maioritariamente entre 11 e 20%, ocorrendo também áreas com taxas de recarga entre 31 e 50%.

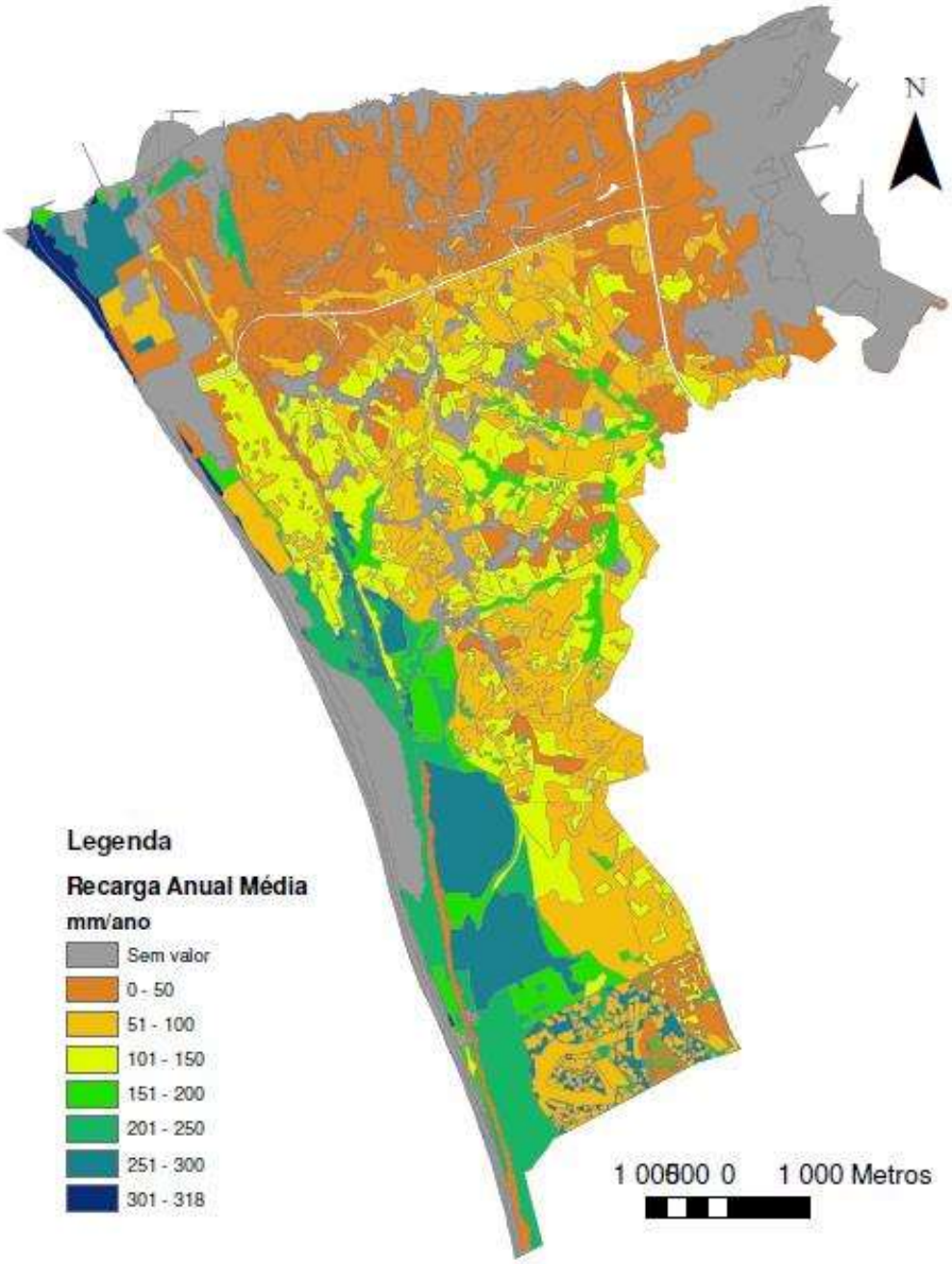


Figura 2.12 – Recarga anual média para o intervalo temporal de 1981/10/01 e 2011/09/30 (Fonte: Caria *et al.*, 2013)

Assim, verifica-se que a taxa de infiltração para as Terras da Costa calculada por Caria *et al.* (2013) é bastante inferior à taxa de infiltração assumida por Simões (2004). O valor da recarga total para o concelho de Almada é de 77 mm/ano, ou seja, um volume de 5 hm^3/ano (Caria *et al.*, 2013), o qual é significativamente inferior ao volume infiltrado calculado por Simões (2004). Com efeito Simões (2004) estimou a recarga média anual no concelho de Almada em 9,8 hm^3/ano, assumindo uma taxa de infiltração média de 18 %.

Dado que a recarga dos aquíferos na área do concelho de Almada variará entre 5 hm^3/ano (Caria *et al.*, 2013) e 9,8 hm^3/ano (Simões, 2004) e os consumos públicos abastecidos pela Câmara Municipal

de Almada se cifram nos 17,8 hm^3/ano (Simões, 2004), resulta que os recursos hídricos do concelho são insuficientes para abastecer a totalidade dos consumos, dado que aos consumos públicos há ainda a adicionar os consumos agrícolas e outros. Assim, para o abastecimento público, a maioria das captações situam-se no concelho do Seixal, nas formações Miocénicas e Pliocénicas. O problema tende a agravar-se dada a crescente urbanização destes dois concelhos, com consequências negativas para a recarga e qualidade físico-química das águas, em especial no que toca às unidades aquíferas do Pliocénico arenoso (Simões, 2004).

3 | Seleção dos poços e furos existentes na área de estudo

3.1 Introdução

Na área de estudo foram identificados mais de uma centena de infraestruturas para captação de águas subterrâneas, poços e furos, que têm vindo essencialmente a ser utilizadas para a rega das áreas agrícolas. De referir que, naquela área, foi prática comum (possivelmente na sequência de uma diminuição no nível piezométrico) aumentar a profundidade de captação da água, através da realização de um furo mais profundo dentro dos poços, de forma a permitir que a água desse nível afluísse ao poço (cf. Figura 3.1). Para simplificar, estes poços/furos serão doravante referidos como poços.



Figura 3.1 – Aspeto de um poço com a plataforma usada para construção de furo visando a aprofundamento do nível de extração de águas subterrâneas

Foi levantado o estado de conservação de cerca de 70 poços, identificados como pertencentes ao aquífero arenoso das TC, para selecionar um conjunto de cerca de 30 poços para monitorização e amostragem de água em dois períodos distintos.

3.2 Metodologia

A seleção de 30 poços foi realizada com base num diversificado conjunto de informação georreferenciada disponibilizada pela CMA, na informação disponível no SNIRH, em trabalhos anteriores (*e.g.* Simões, 2004 e Ferreira, 2012) e em outros dados enviados pela CMA. Foi realizado

um trabalho de compatibilização das várias fontes de informação, de identificação de pontos repetidos e/ou mal posicionados, com base na qual foram pré-selecionados 35 poços.

Com base nos 35 poços pré-selecionados foi feita uma visita ao local para averiguar as condições dos mesmos e falar com os moradores para obter autorização e combinar datas de amostragem. Os critérios que estiveram na base da seleção dos poços foram os seguintes:

- estar em boas condições;
- permitir uma boa distribuição espacial e abranger toda a área em análise;
- ter autorização dos moradores para amostragem;
- ter informação histórica para se poder avaliar a sua evolução.

3.3 Poços selecionados

No Quadro 3.1 apresentam-se as principais características que foi possível apurar sobre os poços selecionados para as campanhas. Na maioria das situações, não foi possível confirmar a informação sobre a profundidade dos poços e furos, bem como da profundidade da bomba, por impossibilidade de acesso para medição e desconhecimento dos moradores. A Figura 3.2 apresenta a localização dos pontos de amostragem.

Quadro 3.1 – Características dos pontos de águas subterrâneas selecionados

Ponto	M	P	Tipo	Prof. Poço (m)	Prof. Furo (m)	Prof. total aprox. (m)	Altura boca (m)	n.a. (m)		Prof. Bomba (m)	Utilização
								2023/ dezem.	2024/ maio		
P133	-94235,19	-114955,88	Poço + furo	9	2	11	1,00	9,12	8,90	10	Uso doméstico e rega para cultivo de plantas suculentas
P134	-94181,63	-115112,65	Poço + furo	6	7	13	0,93	11,07	9,99	-	Rega e uso doméstico
P136A	-93861,54	-116161,76	Poço	-	-	-	0,00	4,24	4,13	-	Sem uso
P138A	-94166,09	-115788,12	Poço	-	-	-	0,38	3,69	3,56	-	Sem uso
P147	-94656,81	-114936,51	Poço + furo	4,2	-	-	0,84	2,64	2,56	-	Sem informação
P148	-94715,97	-114789,26	Poço + furo	-	-	-	0,69	2,58	2,50	-	Uso doméstico e rega
P160A	-95197,25	-113176,13	Poço + furo	-	-	-	0,75	> 7	-	7	Rega
P165A	-95146,57	-113750,77	Poço + furo	4,4	-	-	0,73	3,46	3,32	-	Uso doméstico
P167	-95194,82	-113832,67	Poço + furo	-	-	-	0,73	2,67	2,55	-	Uso doméstico e rega
P169A	-95169,27	-114054,07	Poço + furo	6	2	8	0,65	2,65	2,57	-	Rega
P171	-94876,14	-114045,47	Poço + furo	-	-	-	0,85	> 6	-	-	Uso doméstico
P176	-94782,05	-114335,71	Poço + furo	5	8	13	0,26	3,13	3,88	-	Uso doméstico e rega
P178	-94599,96	-114399,43	Poço + furo	-	-	-	0,00	-	-	6	Uso doméstico e rega
P185	-94492,11	-114663,71	Poço	-	-	-	0,67	3,72	3,55	-	Sem uso
P188	-94449,58	-114866,10	Poço + furo	-	-	-	0,75	3,2	3,00	-	Uso doméstico e lavagem da oficina
P199	-94514,84	-115049,64	Poço	-	-	-	0,39	3,46	3,31	-	Sem uso
P202	-94075,30	-115274,77	Poço + furo	-	-	-	0,92	10,63	10,45	-	Rega e uso doméstico
P300	-95410,06	-112861,41	Poço + furo	6	2	8	0,87	6,56	6,54	7	Rega
P301	-95236,58	-113035,75	Poço + furo	-	-	-	0,65	> 9	-	9	Rega
P302	-94913,64	-113475,43	Poço + furo	-	-	-	0,60	> 9	-	9	Rega de terrenos cultivados sem recurso a adubos químicos
P303	-95135,79	-113465,27	Poço + furo	-	-	-	0,12	3,96	-	-	Rega de terrenos cultivados há 200 anos
P303A	-95193.28	-113414,90	Poço	-	-	-	0,68	-	3,82	-	Sem uso?
P304	-94810,73	-113908,78	Poço + furo	9	3	12	0,68	-	7,32	-	Rega
P304A	-94899,43	-113870,09	Poço + furo	7	2	9	0,00	-	-	>7	Uso doméstico, rega e lavagem de uma oficina
P305	-94583,95	-114082,31	Poço + furo	7	-	25	0,30	> 7	-	-	Uso doméstico e rega
P306A	-94420,02	-114491,50	Poço + furo	-	-	-	0,00	> 6	-	-	Uso doméstico e rega
P307	-94008,59	-115572,00	Poço + furo	-	-	15	0,00	> 9	-	-	Rega e uso doméstico
P308	-95665,10	-112892,84	Poço	-	-	-	0,41	3,06	3,17	-	Sem uso
P309A	-94290,23	-115538,22	Furo	-	-	15	0,00	> 6,5	8,74	-	Rega e uso doméstico
P310	-93766,84	-116396,29	Poço + furo	1	5	15	0,25	7,04	7,04	-	Uso doméstico, rega e criação de animais
P311	-95237,59	-112973,89	Furo	-	-	35	0,00	-	-	22	Rega
P312	-95557,85	-113242,36	Poço			4	0,78	-	2,52	-	Sem uso

n.a. (m) – profundidade do nível da água subterrânea medida desde a boca do furo/poço

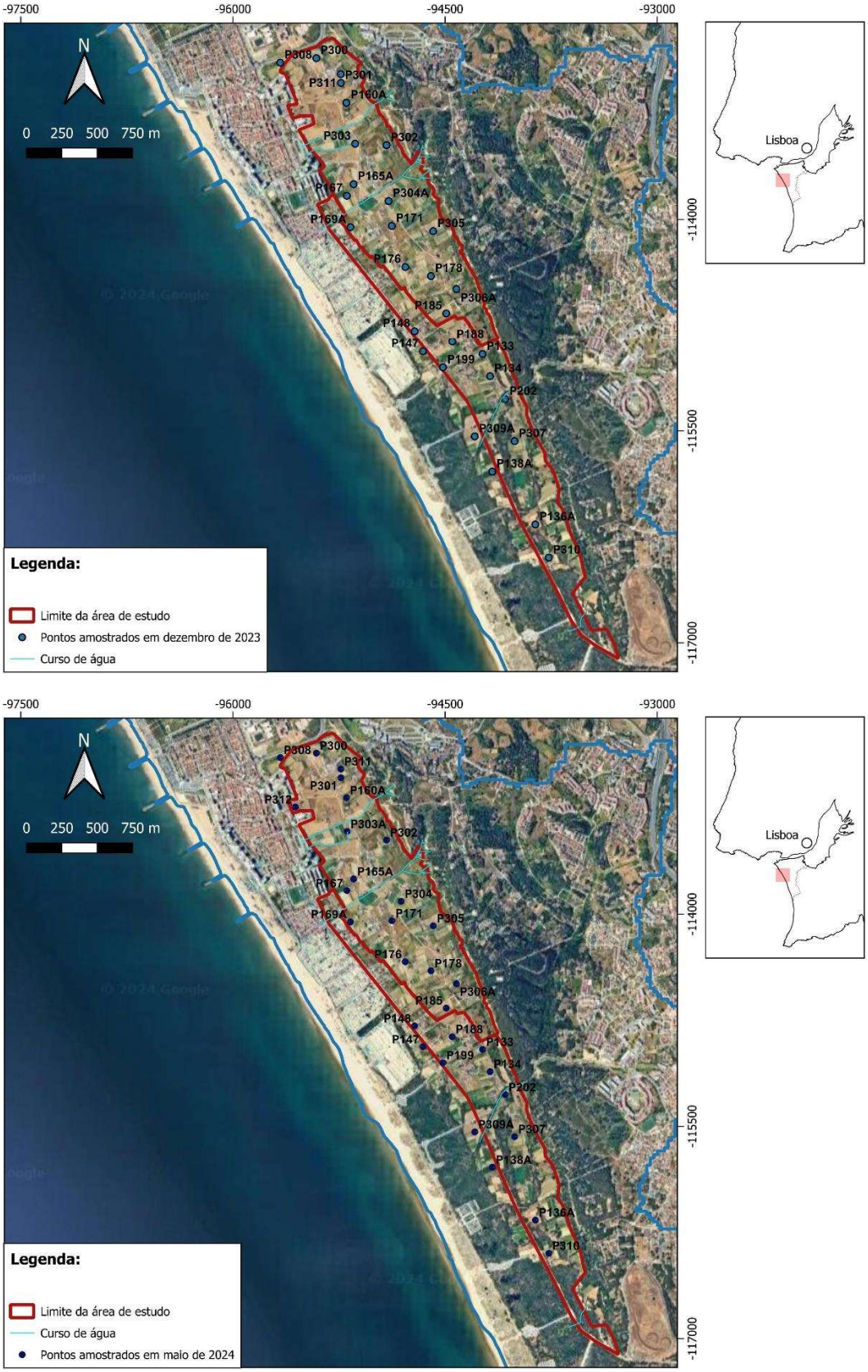


Figura 3.2 – Pontos de águas subterrâneas amostrados na área de estudo

4 | Caracterização da qualidade das águas subterrâneas

4.1 Introdução

Considerando que a sustentabilidade das atividades previstas para o Agroparque das Terras da Costa dependem das características dos solos e das águas subterrâneas existentes no local, um dos aspetos principais deste estudo é caracterizar o estado atual da qualidade das águas subterrâneas, designadamente verificar se existe contaminação ou intrusão marinha, e avaliar a aptidão da água para a rega. Nesse contexto, e atendendo à ocupação do solo da região (cf. Secção 6.2.4), foram selecionados um conjunto de pontos de amostragem e de parâmetros químicos representativos da área de estudo.

4.2 Metodologia

A caracterização do estado da qualidade das águas subterrâneas em 2023/24 foi efetuada com base nos resultados das análises químicas de amostras de água recolhidas em duas campanhas de amostragem em poços, com 29 e 30 pontos, em dezembro de 2023 e maio de 2024, respetivamente.

A 1.ª campanha realizou-se entre 11 e 13 de dezembro de 2023 e a 2.ª campanha entre 13 e 14 de maio de 2024. Em cada uma das campanhas foram, ainda, recolhidas amostras do branco de campo e duplicado, para analisar a eventual contaminação durante o processo de amostragem e para avaliar a confiabilidade dos resultados analíticos, respetivamente. Em ambos os casos, o laboratório de análises desconhece a origem destas amostras. Os brancos de campo (efetuados durante a amostragem do poço P304A e P185, em dezembro de 2023 e maio de 2024, respetivamente) não revelaram contaminação atmosférica durante o processo de amostragem. Os duplicados (efetuado para o poço P305 e P160A, em dezembro de 2023 e maio de 2024, respetivamente) apresentaram valores equivalentes às amostras originais confirmando, assim, a qualidade dos resultados.

Foram efetuadas as seguintes 50 análises químicas laboratoriais da qualidade das águas, pela firma AmbiPar Control, diretamente contratada pela CMA, procurando incluir os parâmetros necessários à caracterização da fácies hidroquímica da água e os resultantes das pressões existentes em consequência da ocupação do solo (*e.g.*, atividade agrícola, fossas séticas, lixeiras):

1. Iões maiores - cloreto (Cl^-), bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}), além dos nitratos (NO_3^-) e do carbonato (CO_3^{2-});
2. metais: cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), crómio (Cr), ferro (Fe), lítio (Li), níquel (Ni), zinco (Zn) e vanádio (V);
3. pesticidas (AMPA, bentazona, clorpirifos, desetilsimazina, desetilterbutilazina, dimetenamida-p, diurão, glifosato, glufosinato de amónio, imidaclopride, M656PH051, metalaxil, metribuzina, simazina e terbutilazina);

4. hidrocarbonetos (hidrocarbonetos totais do petróleo, acenafteno, acenaftileno, antraceno, benz(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenz(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno e pireno).

Foi, igualmente, feita a medição dos níveis piezométricos e dos seguintes parâmetros *on-site*: temperatura (T), pH, potencial redox (Eh), condutividade elétrica (CE), confirmados em análise laboratorial juntamente com o oxigénio dissolvido (DO).

Os resultados obtidos foram analisados à luz da legislação em vigor, conforme referido na secção 4.3.

4.3 Critérios para a interpretação das análises químicas

4.3.1 Físico-químicos

Os critérios utilizados para a classificação do estado químico das águas subterrâneas têm por base a legislação portuguesa em vigor, nomeadamente as Normas de Qualidade (NQ) definidas na Diretiva das Águas Subterrâneas (DAS), transposta pelo Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de outubro, bem como os Limiares posteriormente definidos pela Autoridade Nacional da Água (Agência Portuguesa do Ambiente, APA) em 2015 e revistos em 2021. No total foram estabelecidos Limiares para 54 substâncias.

No Quadro 4.1 apresentam-se o conjunto valores de referência (ou Normas de Qualidade Ambiental, NQA) dos documentos normativos usados, apenas para os parâmetros analisados neste estudo (incluindo os parâmetros sem valores de referência):

- NQ - Normas de Qualidade, Anexo I da DAS, DL 208/2008 Diretiva das Águas Subterrâneas.
- L - Limiares (APA, 2021).

Quadro 4.1 – Valores de referência (ou NQA) em águas subterrâneas e para os parâmetros analisados

Parâmetro	Unidade	Normativo	
		NQ	L (2021)
Temperatura	ºC	-	-
pH	Sorensen	-	≥ 5,5; ≤ 9
Condutividade elétrica	µS/cm (20ºC)	-	2500
Carbonatos	mg/L	-	-
Cloretos	mg/L	-	250
Bicarbonatos	mg/L	-	-
Nitratos	mg/L	50	-
Sulfatos	mg/L	-	250
Cádmio – Cd	mg/L	-	0,005
Cálcio – Ca	mg/L	-	-
Chumbo - Pb	mg/L	-	0,01
Crómio – Cr	mg/L	-	0,05
Cobre – Cu	mg/L	-	2

Parâmetro	Unidade	Normativo	
		NQ	L (2021)
Ferro – Fe	mg/L	-	0,2
Lítio – Li	mg/L	-	1,65
Magnésio - Mg	mg/L	-	-
Níquel – Ni	mg/L	-	0,02
Potássio – K	mg/L	-	-
Sódio – Na	mg/L	-	-
Vanádio – V	mg/L	-	-
Zinco – Zn	mg/L	-	0,05
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo HTP (C10-C40)	mg/L	-	0,01
Acenafteno	µg/L	-	0,06
Acenaftileno	µg/L	-	1,3
Antraceno	µg/L	-	0,0007
Benzo(a)antraceno	µg/L	-	0,0001
Benzo(a)pireno	µg/L	-	0,01
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	-	0,1
Benzo(g.h.i)perileno	µg/L	-	
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	-	
Indeno(1.2.3.cd)pireno	µg/L	-	
Criseno	µg/L	-	0,003
Dibenz(a.h)antraceno	µg/L	-	0,0014
Fenantreno	µg/L	-	0,003
Fluoranteno	µg/L	-	0,003
Fluoreno	µg/L	-	1,5
Naftaleno	µg/L	-	10
Pireno	µg/L	-	0,0023

NQ - Normas de Qualidade, Anexo I da DAS, DL 208/2008 Diretiva das Águas Subterrâneas.
L - Limiares (APA, 2021).

4.3.2 Classificação das águas para irrigação

Para a avaliação do risco de alcalização e de salinização para uso agrícola projetaram-se os dados existentes no diagrama de Wilcox por bacia. No índice SAR (Custódio e Llamas, 1976), projetado no diagrama de Wilcox, a classificação das águas para irrigação é baseada nos valores da condutividade elétrica e no índice de adsorção de sódio (SAR). De acordo com aqueles autores, este índice traduz o efeito da concentração relativa de catiões na acumulação de sódio no solo e é calculado pela seguinte fórmula:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

sendo as concentrações expressas em miliequivalentes por litro (meq/L).

Projetando os valores num diagrama como o da Figura 4.14, onde a CE se representa no eixo dos xx e o SAR no eixo dos yy, estabelece-se uma das 16 possíveis categorias de água. Estas categorias são uma combinação das diferentes classes de risco de salinização de solo e risco de alcalização do solo, dividida no conjunto de classes a seguir apresentadas.

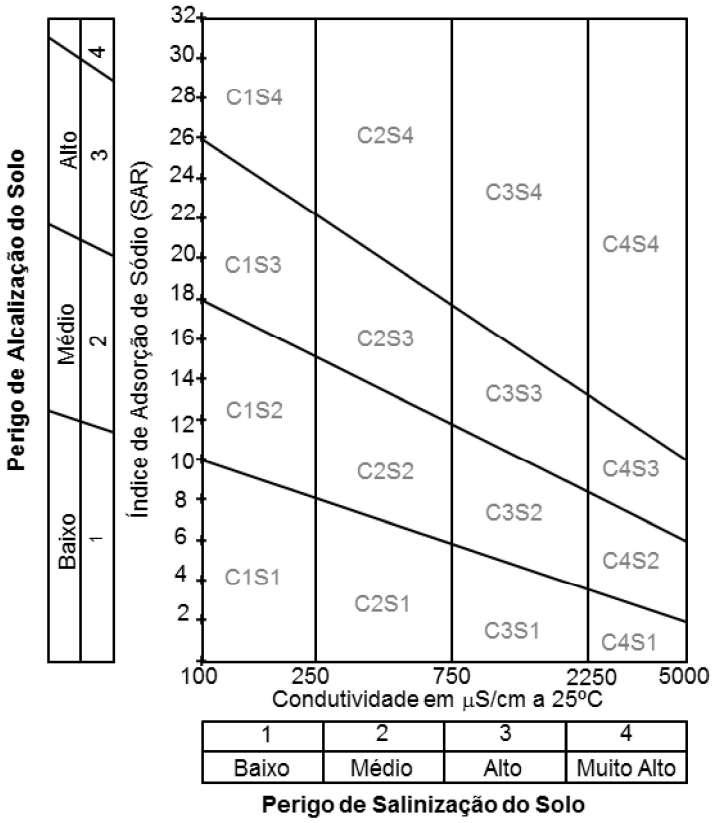


Figura 4.14 – Diagrama de Wilcox para avaliação do risco de alcalização e de salinização do solo para uso agrícola

Risco de salinização:

- C1 – águas de baixa salinidade que podem ser usadas para irrigação na maior parte das culturas em quase todos os solos sem que haja risco de salinização.
- C2 – águas de salinidade média que podem ser usadas em solos com um grau de lixiviação moderado e culturas com alguma tolerância aos sais.
- C3 – águas muito salinas que não devem ser usados em solos com drenagem deficiente.
- C4 – águas que apresentam um risco de salinização muito alto e que, em condições normais, não devem ser usadas para irrigação.

Risco de alcalização:

- S1 – águas com baixo teor de sódio que podem ser usadas em quase todos os solos sem dar origem a níveis perigosos deste elemento.
- S2 – águas que apresentam um teor médio de sódio que pode causar problemas de alcalização em solos de textura fina com baixa lixiviação.
- S3 – águas com um teor elevado de sódio podendo causar problemas de alcalização. O seu uso requer condições especiais como boa drenagem, lixiviação intensa e adição de matéria orgânica.

- S4 – águas com um teor muito alto em sódio e que não devem ser usadas para irrigação.

4.4 Resultados obtidos

4.4.1 Caracterização geral

O Quadro 4.2 e a Figura 4.2 apresentam uma síntese estatística dos resultados das análises químicas das águas subterrâneas obtidos nas duas campanhas para as 59 amostras de águas subterrâneas. No Anexo II apresenta-se a lista completa dos resultados das análises químicas por poço.

Tratam-se de águas que geralmente apresentam elevada mineralização (valor da mediana de condutividade elétrica de 2 168 µS/cm, sendo o Limiar 2 500 µS/cm) e com pH neutro a básico (de 6,78 a 8,12).

Quadro 4.2 – Síntese estatística dos resultados das 59 amostras de águas subterrâneas

Parâmetro	Unidade	n.º Excedências*	Mínimo	Máximo	Mediana	Média
In situ e gerais						
Temperatura	°C	-	16,12	23,1	18,7	18,5
Condutividade elétrica, CE	µS/cm	25	563	7 347	2 168	2 778
pH	-	0	6,78	8,12	7,30	7,35
Potencial redox, Eh	mV	-	-210,8	196,7	99,1	96,8
Oxigénio dissolvido, DO	mg/L	-	-	9,41	4,21	-
Iões maiores						
Potássio, K^+	mg/L	-	4,88	53,50	19,80	21,21
Cálcio, Ca^{2+}	mg/L	-	57,1	1 050,0	282,0	364,7
Magnésio, Mg^{2+}	mg/L	-	7,34	176,0	45,4	58,6
Sódio, Na^+	mg/L	25	20,1	708,0	167,0	234,6
Cloreto, Cl^-	mg/L	37	34,0	1 190,0	307,0	405,2
Bicarbonato, HCO_3^-	mg/L	-	157,0	593,0	339,0	351,8
Sulfato, SO_4^{2-}	mg/L	39	18,8	1 860,0	444,0	629,9
Nitrato, NO_3^-	mg/L	47	2,0	1 290,0	214,0	289,2
Carbonato, CO_3^{2-}	mg/L	-	0	5,3	0,0	0,8
Metais						
Cádmio, Cd	mg/L	0	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Crómio, Cr	mg/L	0	<0,001	0,0011	0,0010	0,0010
Cobre, Cu	mg/L	0	<0,005	0,0787	0,0062	0,0114
Ferro, Fe	mg/L	1	<0,002	1,120	0,0110	0,0493
Lítio, Li	mg/L	0	0,002	0,0930	0,0130	0,0227
Níquel, Ni	mg/L	0	<0,002	0,0060	0,0020	0,0025
Chumbo, Pb	mg/L	0	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Vanádio, V	mg/L	0	<0,001	0,0042	0,0018	0,0021
Zinco, Zn	mg/L	19	0,0022	0,4940	0,0281	0,0512
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTP)						
HTP	mg/L	2	<0,05	0,30	0,05	0,06

Parâmetro	Unidade	n.º Excedências*	Mínimo	Máximo	Mediana	Média
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucliares (HAP)						
Acenafteno	µg/L	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Acenaftileno	µg/L	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antraceno	µg/L	0	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Benzo(a)antraceno	µg/L	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(a)pireno	µg/L	0	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g,h,i)perileno	µg/L	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Criseno	µg/L	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/L	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fenantreno	µg/L	7	<0,03	0,193	0,030	0,035
Fluoranteno	µg/L	2	<0,03	0,073	0,030	0,031
Fluoreno	µg/L	0	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Indeno(1,2,3-cd)pireno	µg/L	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Naftaleno	µg/L	1	<0,10	0,12	0,10	0,10
Pireno	µg/L	0	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Pesticidas						
AMPA	µg/L	2	<0,05	0,60	0,05	0,06
Bentazona	µg/L	7	<0,03	0,58	0,03	0,06
Clorpirifos	µg/L	0	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Desetilsimazina	µg/L	0	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Desetilterbutilazina	µg/L	3	<0,03	0,03	0,03	0,03
Dimetenamida-P	µg/L	0	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Diurão	µg/L	0	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Glifosato	µg/L	3	<0,05	0,38	0,05	0,06
Glufosinato de amónio	µg/L	0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Imidaclopride	µg/L	0	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
M656PH051	µg/L	0	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Metalaxil	µg/L	0	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Metribuzina	µg/L	3	<0,03	1,41	0,03	0,06
Simazina	µg/L	0	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Terbutilazina	µg/L	0	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03

* o número de excedências foi determinado em relação aos valores de referência ou NQA (cf. Quadro 4.1)

A Figura 4.2 permite verificar a estabilidade das concentrações em HCO_3^-, K^+ e Mg^{2+} nas 59 amostras relativamente aos restantes iões, assunto que será adiante retomado.

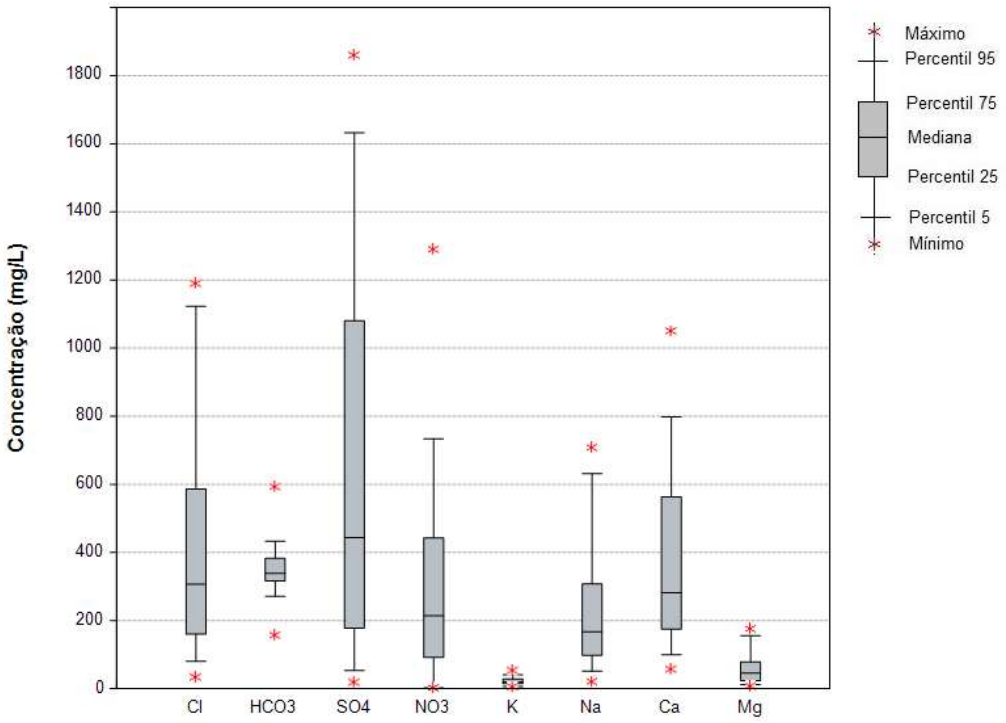


Figura 4.2 – Diagrama de box-plot das concentrações em iões maiores e nitratos nas 59 amostras de águas subterrâneas

A projeção dos dados no diagrama de Piper (Figura 4.3) permite classificar a fácies hidroquímica predominante das águas como bicarbonatada e sulfatada cálcica a sódica.

Na Figura 4.3 verifica-se que a percentagem de concentração em catiões (Ca^{2+}, Mg^{2+} e Na^{+} + K^{+}) é próxima em todos os poços, em especial para o Mg^{2+} (< 20%) (pois há uma variação de cerca de 20% entre o Ca^{2+} e Na^{+} + K^{+}). No caso dos aniões (HCO_3^-, SO_4^{2-} e Cl^-), a percentagem de concentração para o cloreto é equivalente para todos os poços (aproximadamente entre 20 e 40%) mas observa-se uma variação assinalável para o HCO_3^- e o SO_4^{2-}, o que mostra a existência de um contributo externo de um destes dois elementos relativamente a uma fácies inicial idêntica das águas deste sistema. Atendendo à estabilidade da concentração de HCO_3^- (cf. Figura 4.2), esse contributo externo deverá provir do SO_4^{2-}.

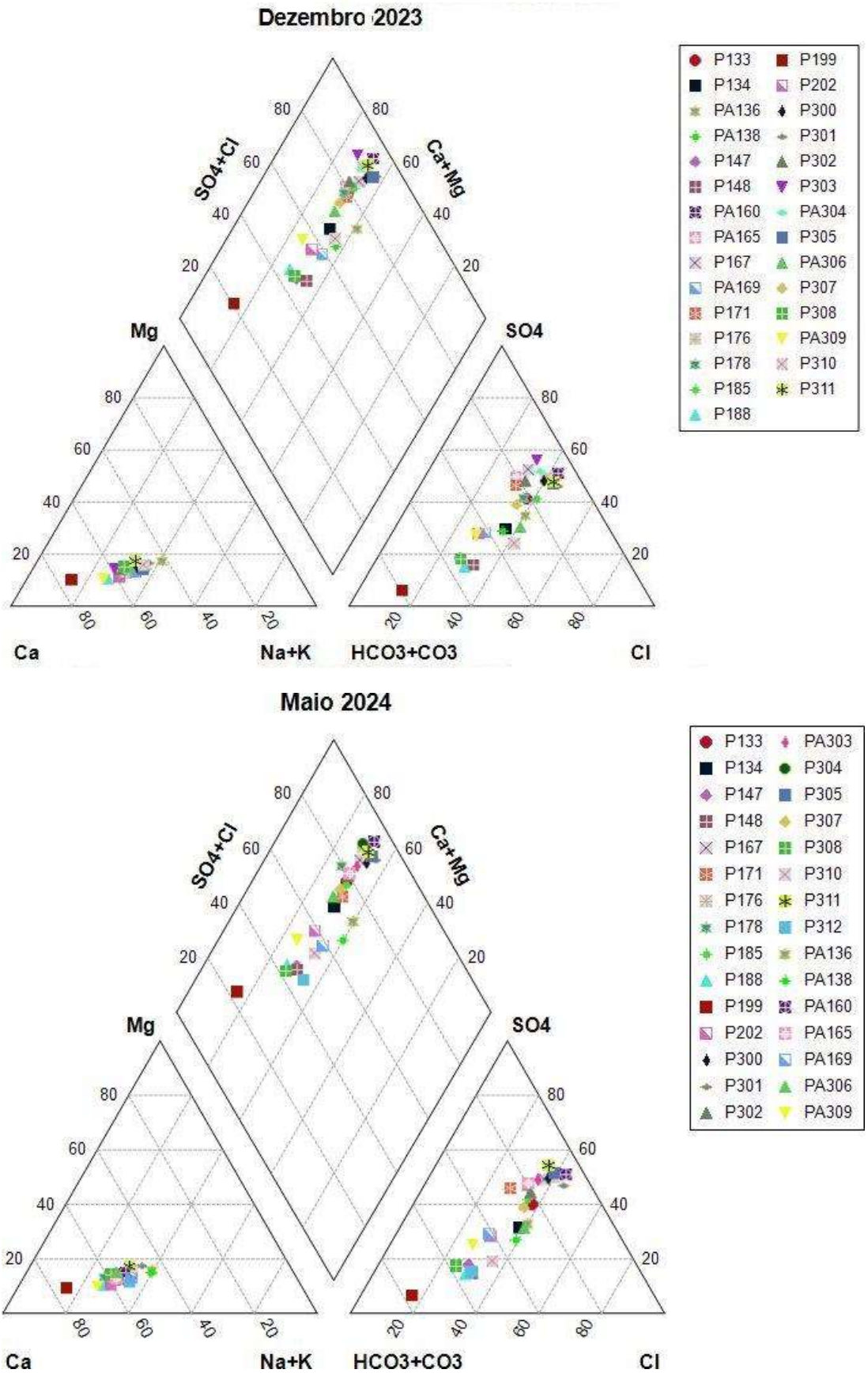


Figura 4.3 – Diagramas de Piper com a projeção da fácies hidroquímica das águas subterrâneas, para dezembro de 2023 (em cima) e maio de 2024 (em baixo)

4.4.2 Qualidade e contaminação

A análise do Quadro 4.2 permite observar que existem diversos parâmetros químicos cujas concentrações são superiores aos valores de referência (cf. Quadro 4.1), nomeadamente diversos iões maiores, dois metais, cinco hidrocarbonetos e cinco pesticidas.

4.4.2.1 Condutividade elétrica

A Figura 4.4 apresenta um mapa da distribuição espacial dos valores da condutividade elétrica (os tons quentes nos mapas são usados para valores superiores ao valor de referência, neste caso de 2 500 µS/cm) onde é possível identificar duas áreas distintas: uma a norte, com maior carga iónica e, portanto, CE acima da NQA, e outra a sul onde a CE é menor. Regista-se, ainda, que não há variações assinaláveis de CE com a distância ao mar, o que constitui um primeiro indício da ausência de intrusão marinha. Inclusive, observam-se valores mais elevados de CE em poços geograficamente localizados em zonas mais afastadas da linha de costa.

4.4.2.2 Iões maiores

Nas Figura 4.5 à Figura 4.8 apresenta-se a distribuição espacial da concentração dos iões maiores com valores acima da NQA.

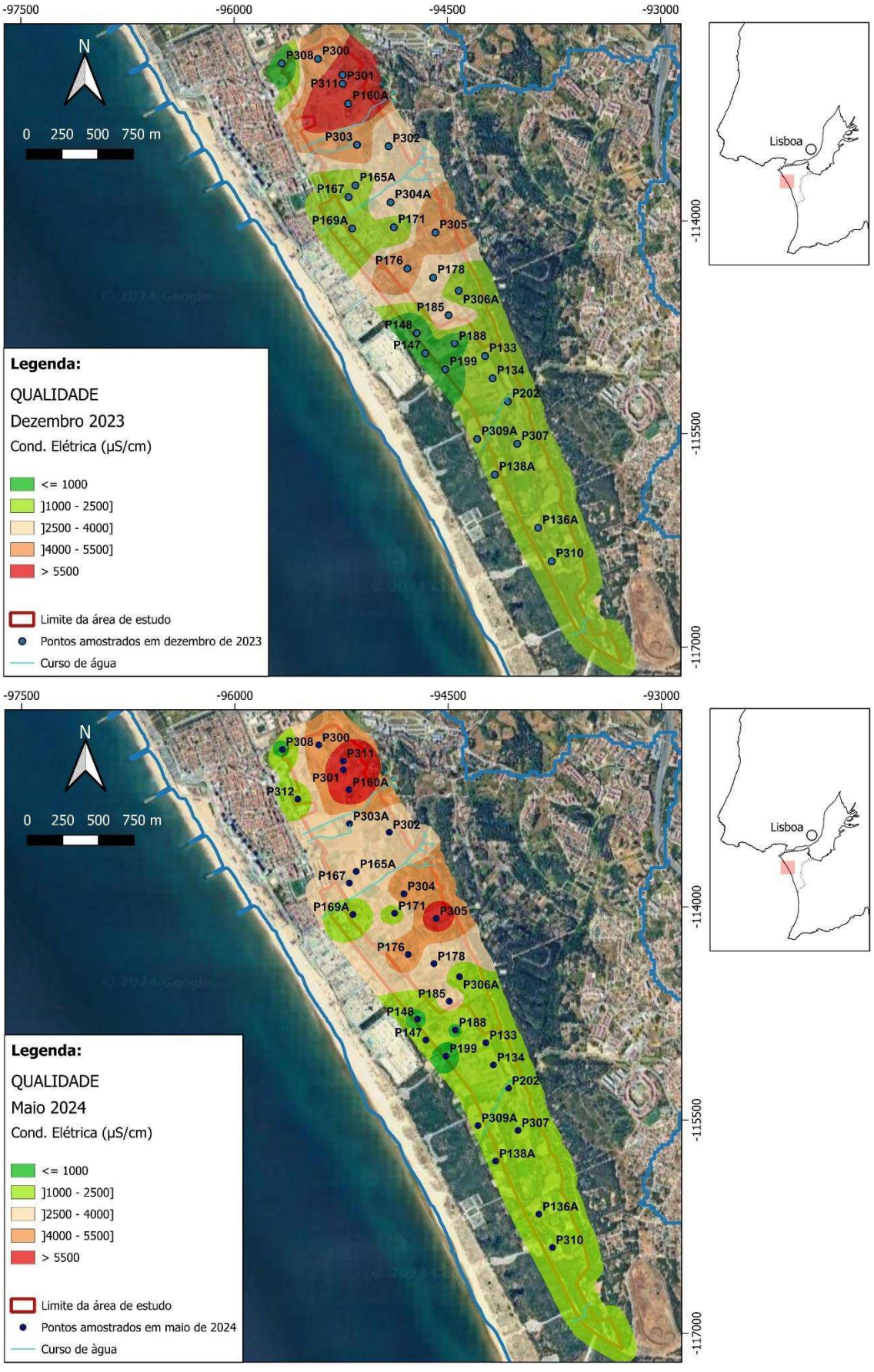


Figura 4.4 – Distribuição espacial dos valores da condutividade elétrica (CE) nas águas subterrâneas



Figura 4.5 – Distribuição espacial da concentração de cloretos nas águas subterrâneas

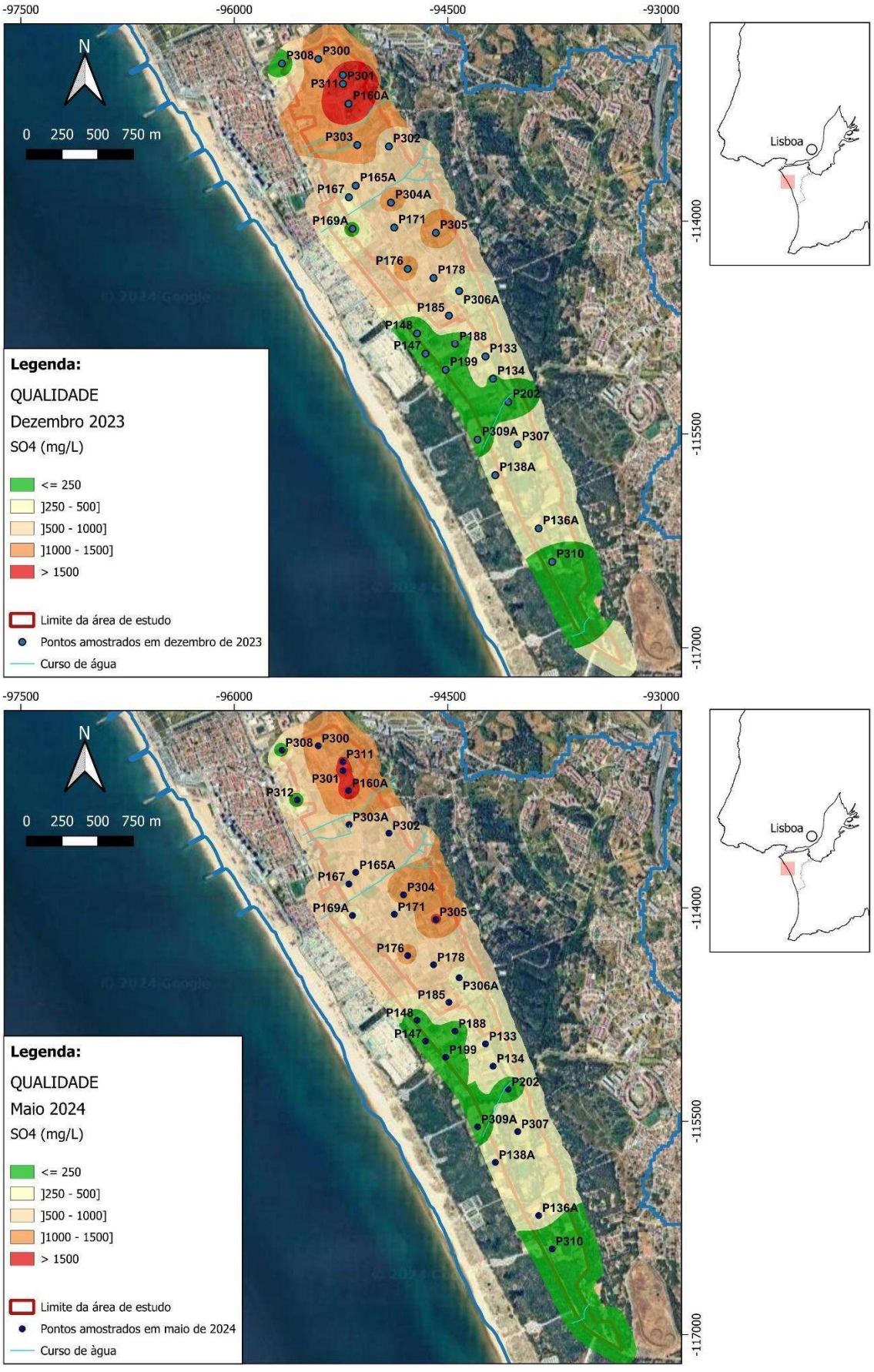


Figura 4.6 – Distribuição espacial da concentração de sulfatos nas águas subterrâneas

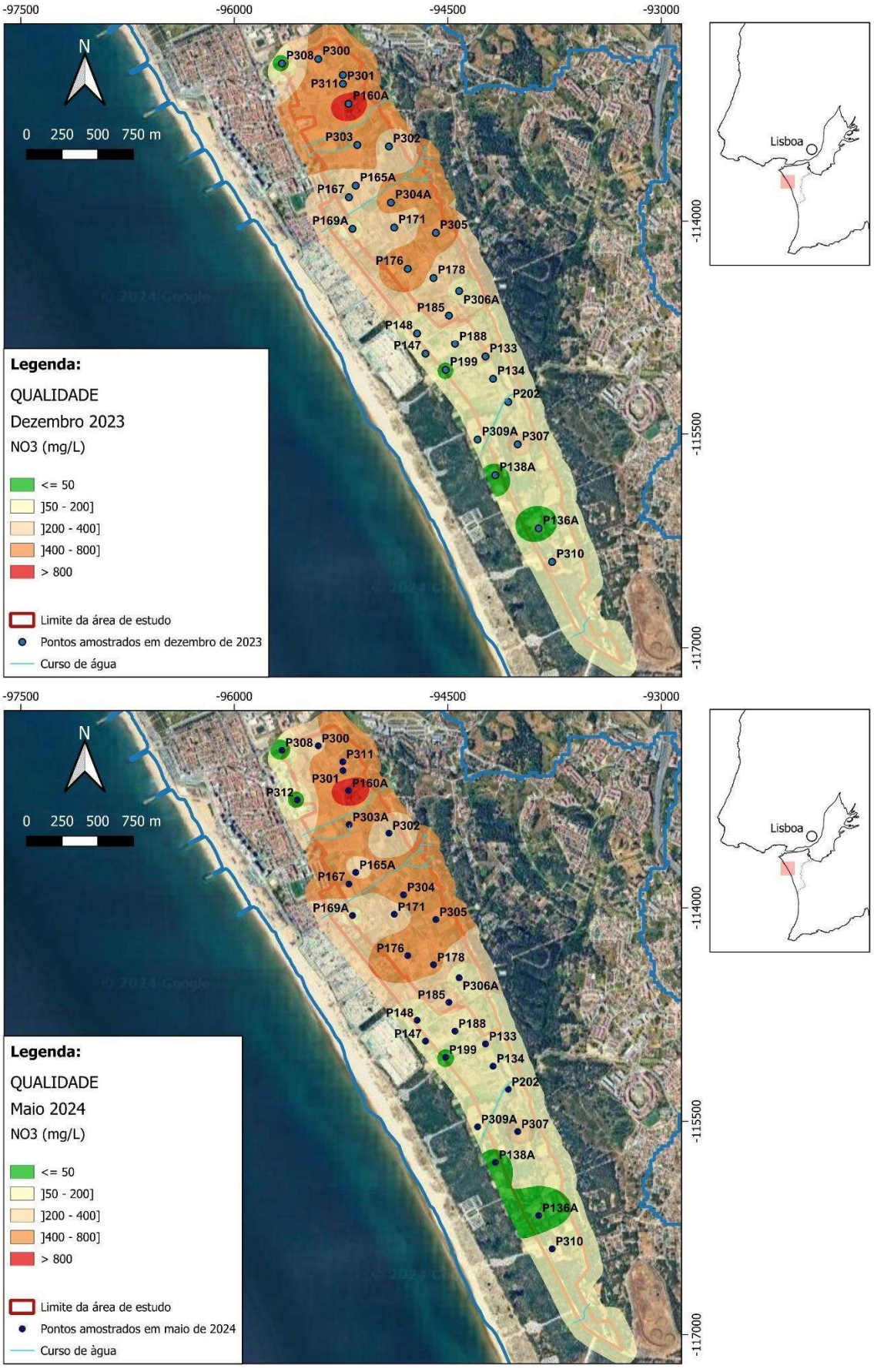


Figura 4.7 – Distribuição espacial da concentração de nitratos nas águas subterrâneas

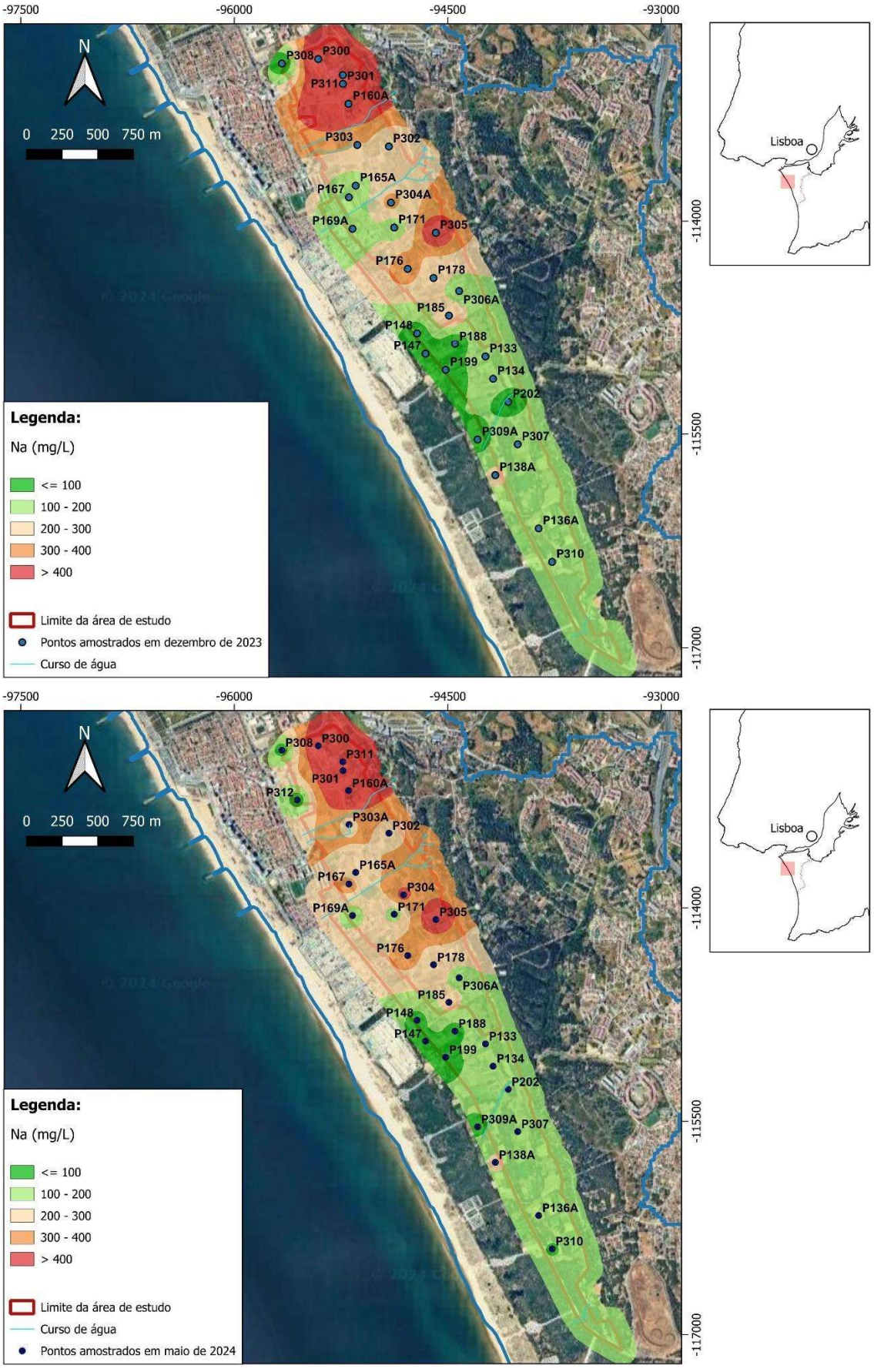


Figura 4.8 – Distribuição espacial da concentração de sódio nas águas subterrâneas

O resultado das duas campanhas mostra haver duas áreas, ambas a norte, onde há concentrações mais elevadas em todos estes iões, a maioria das vezes com valores muito acima das respetivas NQA para CE, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^- e Na^+. Estas concentrações indiciam possível contaminação de décadas das águas subterrâneas pela drenagem da água durante a rega de campos agrícolas, com concentrações elevadas de nitratos e sulfatos resultantes dos fertilizantes aplicados, mas também pela provável contribuição de fossas séticas existentes no tecido urbano disperso pelo território agrícola, constituído por habitações familiares sem rede de esgotos. Observa-se uma relação aproximadamente linear entre os nitratos e sulfatos (Figura 4.9), o que mostra a sua provável origem comum. Para ambos os parâmetros registam-se incrementos entre as duas campanhas em pontos localizados em áreas agrícolas e de ocupação habitacional (*e.g.* P167 ou P305, cf. Figura 4.10 e Figura 4.11).

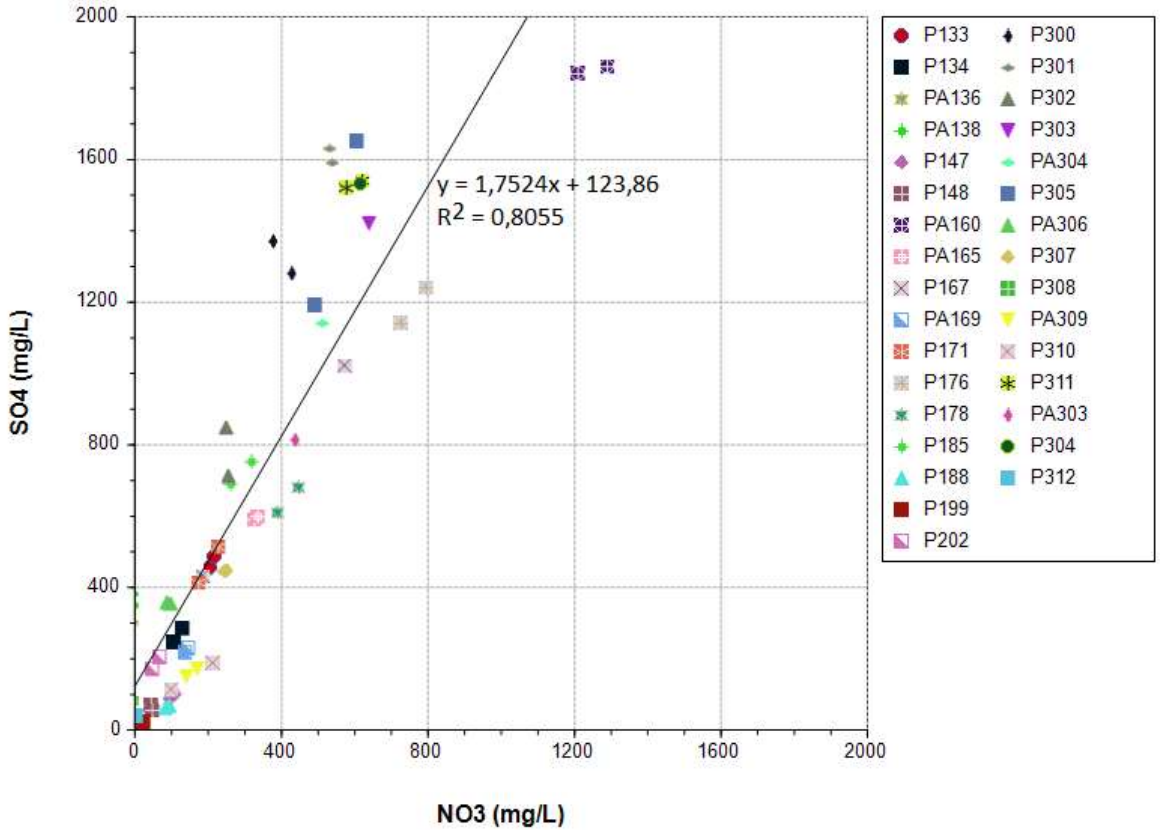


Figura 4.9 – Relação entre a concentração em sulfatos e em nitratos nas 59 amostras de águas subterrâneas

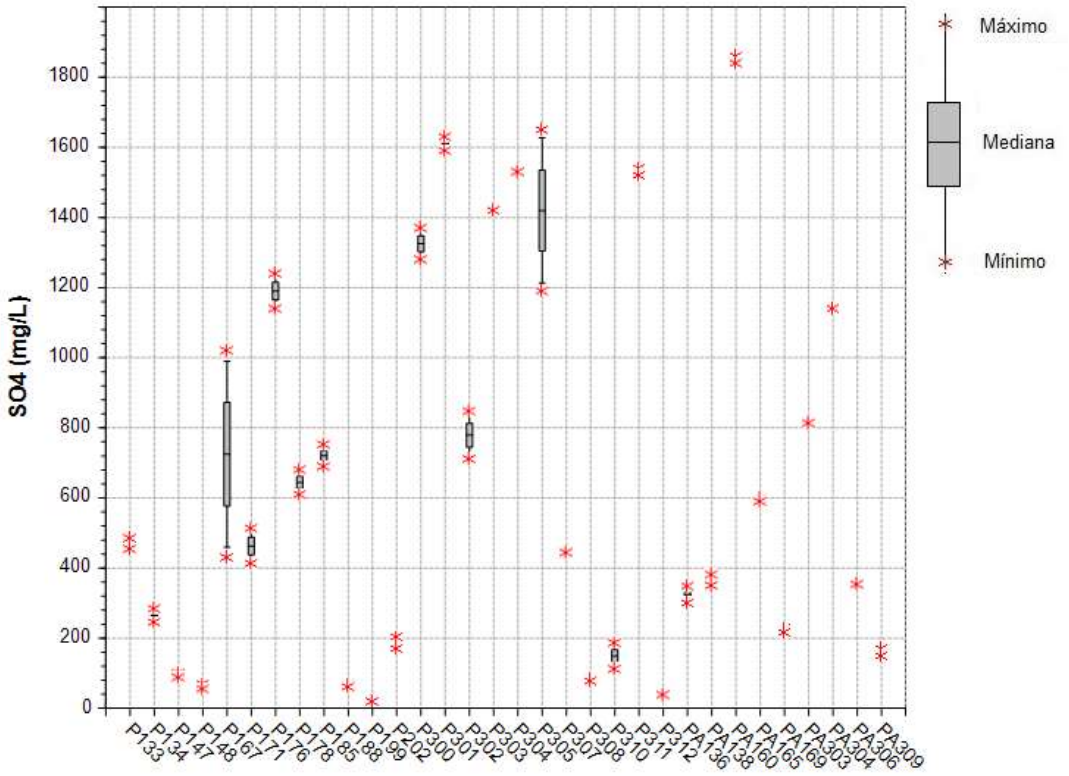


Figura 4.10 – Diagrama de box-plot das concentrações de sulfatos nas 59 amostras de águas subterrâneas

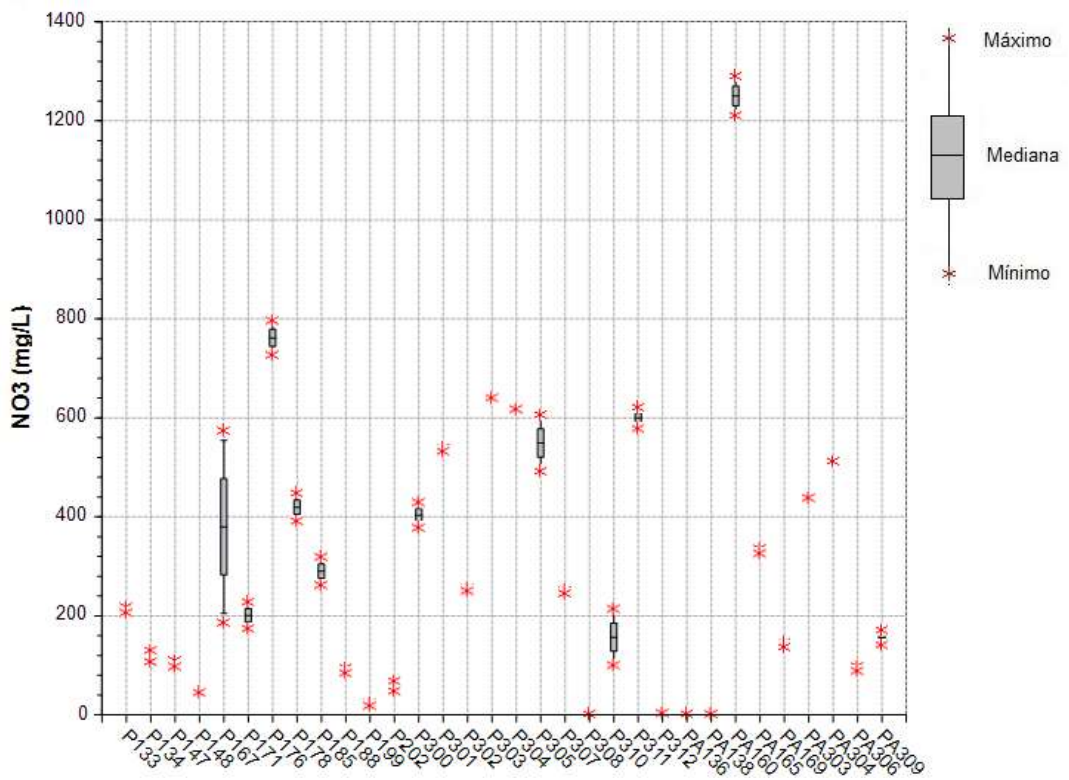


Figura 4.11 – Diagrama de box-plot das concentrações de nitratos nas 59 amostras de águas subterrâneas

4.4.2.3 Metais

Relativamente aos resultados obtidos para os nove metais analisados, pode observar-se no Quadro 4.2 que houve três elementos (cádmio, chumbo e crómio, este último com exceção de um valor) cuja concentração foi inferior aos limites de quantificação (l.q.). Dos restantes seis metais analisados apenas o zinco e o ferro apresentaram concentrações acima nas respetivas NQA, em 19 e um caso, respetivamente.

Apesar da qualidade das águas subterrâneas resultar da ocupação do solo há muitas décadas, seria de esperar que os efeitos da eventual contaminação agrícola fossem evidenciados na campanha de maio de 2024, após o período húmido e a maior aplicação de fertilizantes ricos em metais pesados (*e.g.*, Cu, Fe, Zn) e da rega. A Figura 4.12 à Figura 4.14 apresentam a distribuição espacial destes elementos, além do potássio, outro elemento presente em fertilizantes agrícolas (Figura 4.15). Os resultados obtidos não são conclusivos na medida em que, embora para o Cu se possa observar um aumento das concentrações na campanha de maio de 2024 (onde em dezembro de 2023 havia áreas inferiores ao l.q.), para o Zn e Fe há inclusive decréscimos na área agrícola mais a norte. Na campanha de maio de 2024, tanto para o Zn como para o Fe, observa-se a contribuição da descarga superficial da ribeira do Rego no aporte de sedimentos ricos nestes dois elementos. Os resultados obtidos para o K não ajudam a clarificar a situação.

Embora se tenha procurado, com as duas campanhas realizadas, identificar diferenças devido às pressões, e que neste caso é a pressão agrícola que varia em resultado das aplicações de fertilizantes, o facto é que na área de estudo há agricultura o ano todo, por vezes com quatro colheitas por ano. Além desta situação, e apesar do nível piezométrico da região estar relativamente próximo da superfície em alguns pontos (com valores muito variáveis, cf. Quadro 3.1), há um lapso de tempo entre as pressões e o seu efeito no estado químico, além de a variação das condições de oxidação-redução poder ter influência no estado de oxidação e, assim, no equilíbrio químico dos metais que podem precipitar ou estar em dissolução na água. Na Figura 4.16 pode observar-se essa variação, sendo o pH neutro e estável na região, maioritariamente com valores entre 7 e 8.



Figura 4.12 – Distribuição espacial da concentração de cobre nas águas subterrâneas

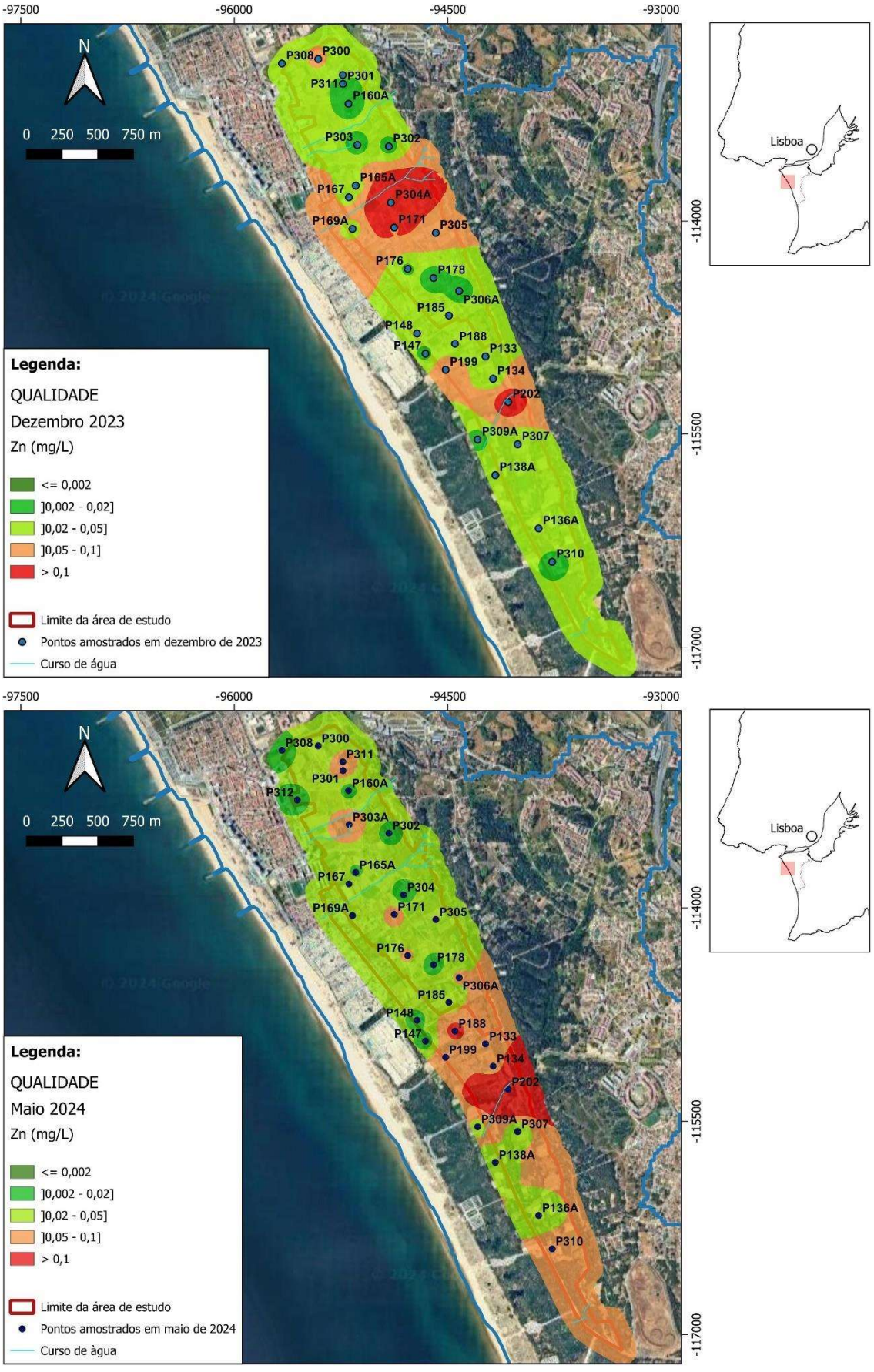


Figura 4.13 – Distribuição espacial da concentração de zinco nas águas subterrâneas



Figura 4.14 – Distribuição espacial da concentração de ferro nas águas subterrâneas



Figura 4.15 – Distribuição espacial da concentração de potássio nas águas subterrâneas

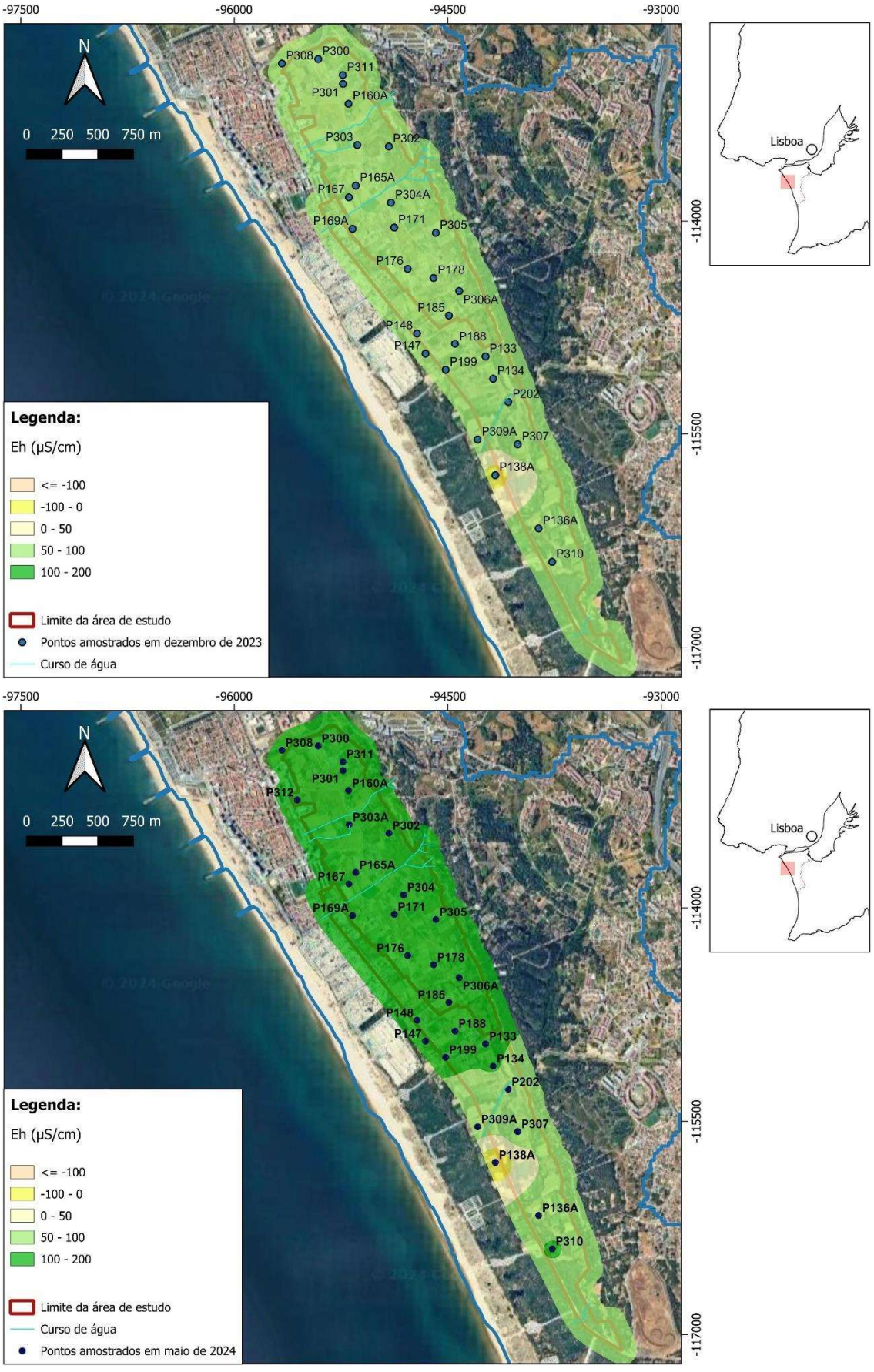


Figura 4.16 – Distribuição espacial do valor do potencial de oxidação-redução das águas subterrâneas

4.4.2.4 Pesticidas

Foram, ainda, analisados um conjunto de 15 pesticidas, com base numa identificação realizada conjuntamente com a CMA, atendendo aos produtos fitossanitários que potencialmente se poderiam vir a encontrar nas águas, em função do solo franco-arenoso em presença e do tipo de culturas nas áreas agrícolas. Foi, igualmente, consultada a "Listagem de produtos fitofarmacêuticos com autorização de venda em Portugal a 31-08-2023", publicada pela DGAV (https://www.dgav.pt/wp-content/uploads/2024/06/Listagem-de-PF-ACP_17_06_2024.xls), e a "Lista de pesticidas a pesquisar em água de consumo humano. Triénio 2022 a 2024" (https://www.ersar.pt/pt/site-ersar/site-recursos-humanos/Documents/PCQA%202022_2024_Rev2.pdf), publicada pela DGAV e a ERSAR, dividida por regiões, com Almada referida na secção 3.3.4 Península de Setúbal (pp. 15/26).

O Quadro 4.2 apresenta uma síntese dos resultados obtidos para os 15 pesticidas analisados. É possível observar que foram encontrados cinco pesticidas acima do l.q., cuja localização é apresentada na Figura 4.17. A Figura 4.18 apresenta os resultados das concentrações desses cinco pesticidas na água, estando apenas representados os 14 poços onde se verificaram concentrações acima do l.q.. Desses 14 poços, oito têm concentrações em pesticidas individuais acima da NQA e três têm concentrações em pesticidas totais acima da NQA, de 0,1 µg/L e 0,5 µg/L, respetivamente (cf. Quadro 4.1).



Figura 4.17 – Identificação dos locais com a presença de pesticidas nas águas subterrâneas

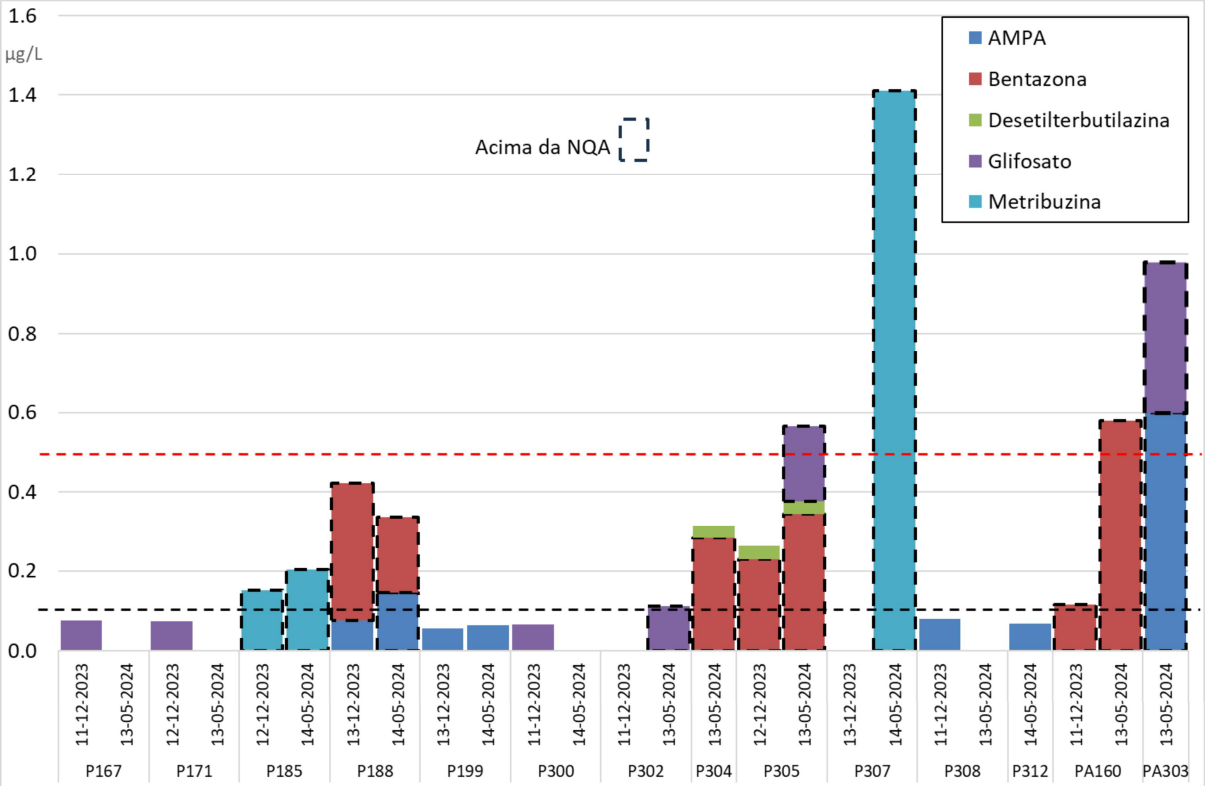


Figura 4.18 – Concentração em pesticidas nas águas subterrâneas de alguns poços amostrados (a linha tracejada a vermelho representa a NQA para pesticidas totais e a linha tracejada a preto representa a NQA para pesticidas individuais)

Na Figura 4.18 observa-se que, embora haja situações em que as concentrações em pesticidas na campanha de dezembro de 2023 tenham sido superiores às de maio de 2024 (cf. P167, P171, P188, P300 e P308), as concentrações de pesticidas nas águas subterrâneas de maio de 2024 são frequentemente superiores quando comparadas com a campanha de inverno, indicando as consequências da aplicação efetuada no período da primavera.

4.4.2.5 Hidrocarbonetos

Foram analisados os hidrocarbonetos totais do petróleo (HTP) e um conjunto de hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (HAP) cuja presença pudesse estar ligada a maquinaria agrícola, mas também a outras atividades na região (*e.g.*, oficinas e tráfego de estradas). Na Figura 4.19 identificam-se os locais com a presença de hidrocarbonetos nas águas subterrâneas.

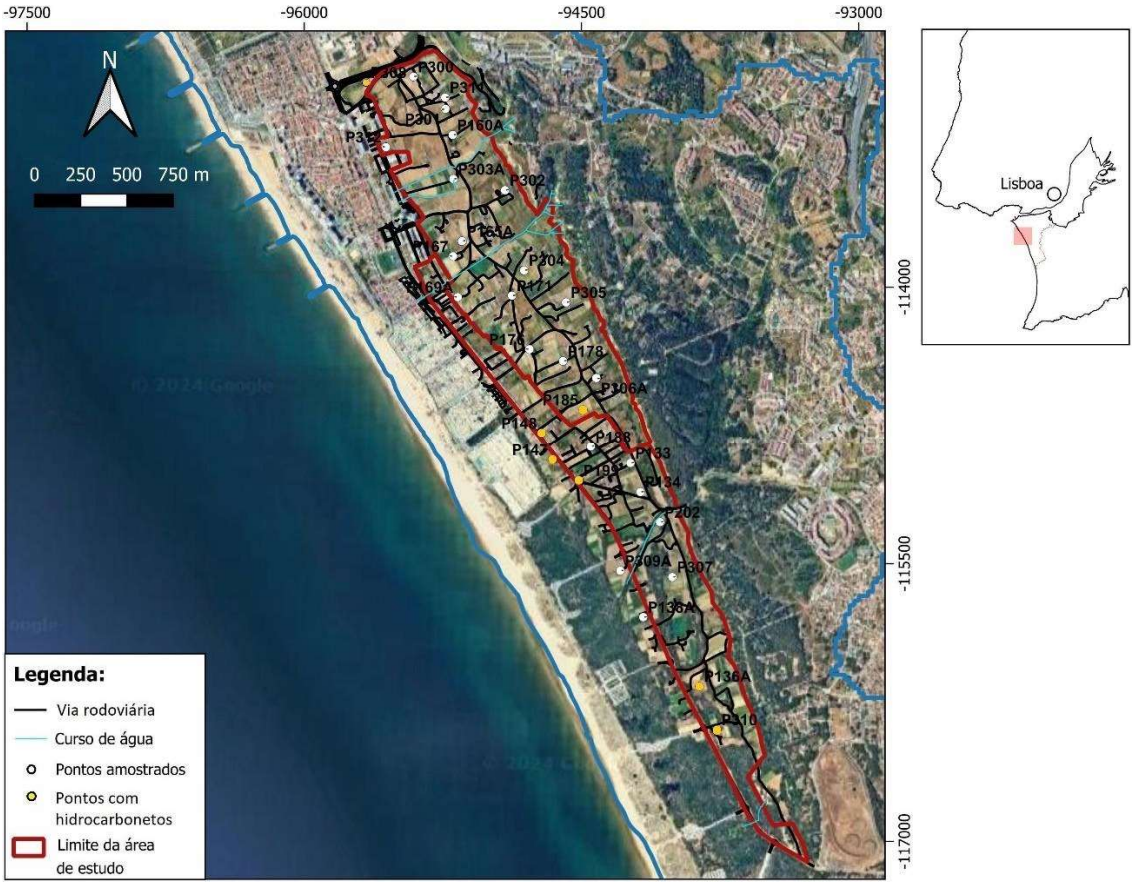


Figura 4.19 – Identificação dos locais com a presença de hidrocarbonetos nas águas subterrâneas

O Quadro 4.2 e a Figura 4.20 apresentam os resultados obtidos. Quatro dos 17 hidrocarbonetos analisados, incluindo os HTP, surgem em concentrações acima das respetivas NQA em sete pontos de amostragem: HTP (2), fenantreno (7), floranteno (2) e naftaleno (1). Contudo, apenas no poço P199 as concentrações surgem em ambas as campanhas. Os poços P308, P147, P148 e P199 localizam-se junto a estradas com maior movimento e rotundas, sendo provável que a contaminação tenha origem em poluentes emitidos pelo uso das estradas. A contaminação dos restantes poços pode ter outras origens, sendo necessário mais informação sobre as atividades realizadas naqueles locais.

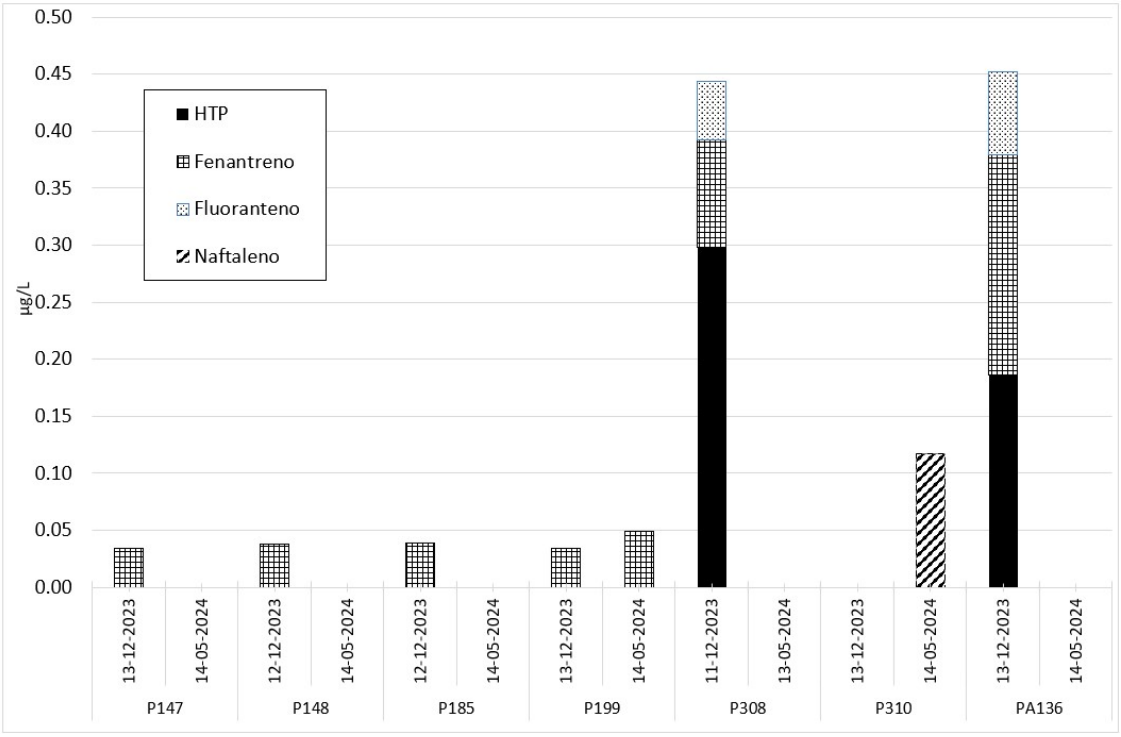


Figura 4.20 – Concentração em hidrocarbonetos nas águas subterrâneas de alguns poços amostrados

4.4.2.6 Análise estatística multivariada

Por fim, e para melhor compreender a relação entre as variáveis, foi realizada a correlação e a Análise de Componentes Principais através do software Analyse-IT (https://analyse-it.com/), com todos os dados de qualidade das águas subterrâneas disponíveis.

Foi realizada uma matriz de correlação de Pearson para ver a possível correlação entre as variáveis (sendo 1 a correlação positiva perfeita, -1 uma correlação negativa perfeita e 0 não correlacionado). O Quadro 4.3 apresenta os resultados obtidos.

Quadro 4.3 – Matriz de correlação de Pearson com alguns dos parâmetros analisados com valores acima dos limites de quantificação

	CE	Ca^{2+}	Cl^-	K^+	Li	Mg^{2+}	Na^+	NO_3^-	HTP	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Cu	Fe	Eh	Zn
CE	-	0,980	0,978	0,118	0,703	0,981	0,980	0,900	-0,165	0,986	0,084	-0,093	-0,146	0,152	-0,075
Ca^{2+}	0,980	-	0,956	0,120	0,651	0,966	0,965	0,927	-0,180	0,985	0,106	-0,060	-0,142	0,163	-0,050
Cl^-	0,978	0,956	-	0,119	0,716	0,983	0,988	0,855	-0,133	0,969	0,148	-0,090	-0,139	0,082	-0,066
K^+	0,118	0,120	0,119	-	0,001	0,095	0,105	0,156	0,016	0,150	0,060	-0,099	-0,006	-0,199	0,079
Li	0,703	0,651	0,716	0,001	-	0,764	0,727	0,444	-0,001	0,695	0,136	-0,150	-0,131	0,157	-0,121
Mg^{2+}	0,981	0,966	0,983	0,095	0,764	-	0,990	0,856	-0,130	0,974	0,128	-0,101	-0,156	0,123	-0,085
Na^+	0,980	0,965	0,988	0,105	0,727	0,990	-	0,854	-0,138	0,969	0,140	-0,088	-0,139	0,098	-0,066
NO_3^-	0,900	0,927	0,855	0,156	0,444	0,856	0,854	-	-0,191	0,897	-0,106	-0,043	-0,166	0,236	-0,065
HTP	-0,165	-0,180	-0,133	0,016	-0,001	-0,130	-0,138	-0,191	-	-0,148	-0,092	-0,103	0,066	-0,024	-0,045
SO_4^{2-}	0,986	0,985	0,969	0,150	0,695	0,974	0,969	0,897	-0,148	-	0,078	-0,059	-0,145	0,149	-0,036
HCO_3^-	0,084	0,106	0,148	0,060	0,136	0,128	0,140	-0,106	-0,092	0,078	-	-0,127	0,046	-0,578	-0,043
Cu	-0,093	-0,060	-0,090	-0,099	-0,150	-0,101	-0,088	-0,043	-0,103	-0,059	-0,127	-	0,042	0,173	0,555
Fe	-0,146	-0,142	-0,139	-0,006	-0,131	-0,156	-0,139	-0,166	0,066	-0,145	0,046	0,042	-	-0,227	0,706
Eh	0,152	0,163	0,082	-0,199	0,157	0,123	0,098	0,236	-0,024	0,149	-0,578	0,173	-0,227	-	-0,117
Zn	-0,075	-0,050	-0,066	0,079	-0,121	-0,085	-0,066	-0,065	-0,045	-0,036	-0,043	0,555	0,706	-0,117	-

O Quadro 4.3 permite observar que a maioria dos iões maiores da água apresentam uma forte correlação entre si (tons azul forte), exceto o K^+ e o HCO_3^-. Para os restantes elementos analisados o grau de correlação é menor.

Foi, ainda, executada uma Análise de Componentes Principais (PCA) para auxiliar na visualização de possíveis relações (num *monoplot*) entre as variáveis, reduzindo a dimensionalidade dos dados a Componentes Principais (PC). Os resultados para o número de dez componentes sem rotação são apresentados nos Quadro 4.4, Quadro 4.5 e na Figura 4.21.

Quadro 4.4 – Coeficientes de correlação entre os parâmetros analisados com valores acima dos limites de quantificação

Parâmetro	Componente		
	1	2	3
CE	0,366	-0,032	0,009
Ca^{2+}	0,363	-0,049	0,020
Cl^-	0,363	-0,048	-0,041
K^+	0,047	-0,110	-0,220
Li	0,273	0,049	-0,052
Mg^{2+}	0,366	-0,025	-0,022
Na^+	0,364	-0,045	-0,031
NO_3^-	0,331	-0,012	0,131
HTP	-0,062	0,081	-0,048
SO_4^{2-}	0,364	-0,053	0,018
HCO_3^-	0,036	-0,133	-0,593
Cu	-0,040	-0,356	0,408
Fe	-0,072	-0,560	-0,044
Eh	0,061	0,234	0,612
Zn	-0,042	-0,674	0,177

Quadro 4.5 – Variância, proporção e proporção cumulativa dos vários componentes da análise de componentes principais das águas subterrâneas

Componente	Variância	Proporção	Proporção cumulativa
1	7,335	0,489	0,489
2	1,915	0,120	0,617
3	1,766	0,118	0,734
4	1,091	0,073	0,807
5	1,010	0,067	0,874
6	0,787	0,052	0,927
7	0,527	0,035	0,962
8	0,320	0,021	0,983
9	0,104	0,007	0,990
10	0,076	0,005	0,995

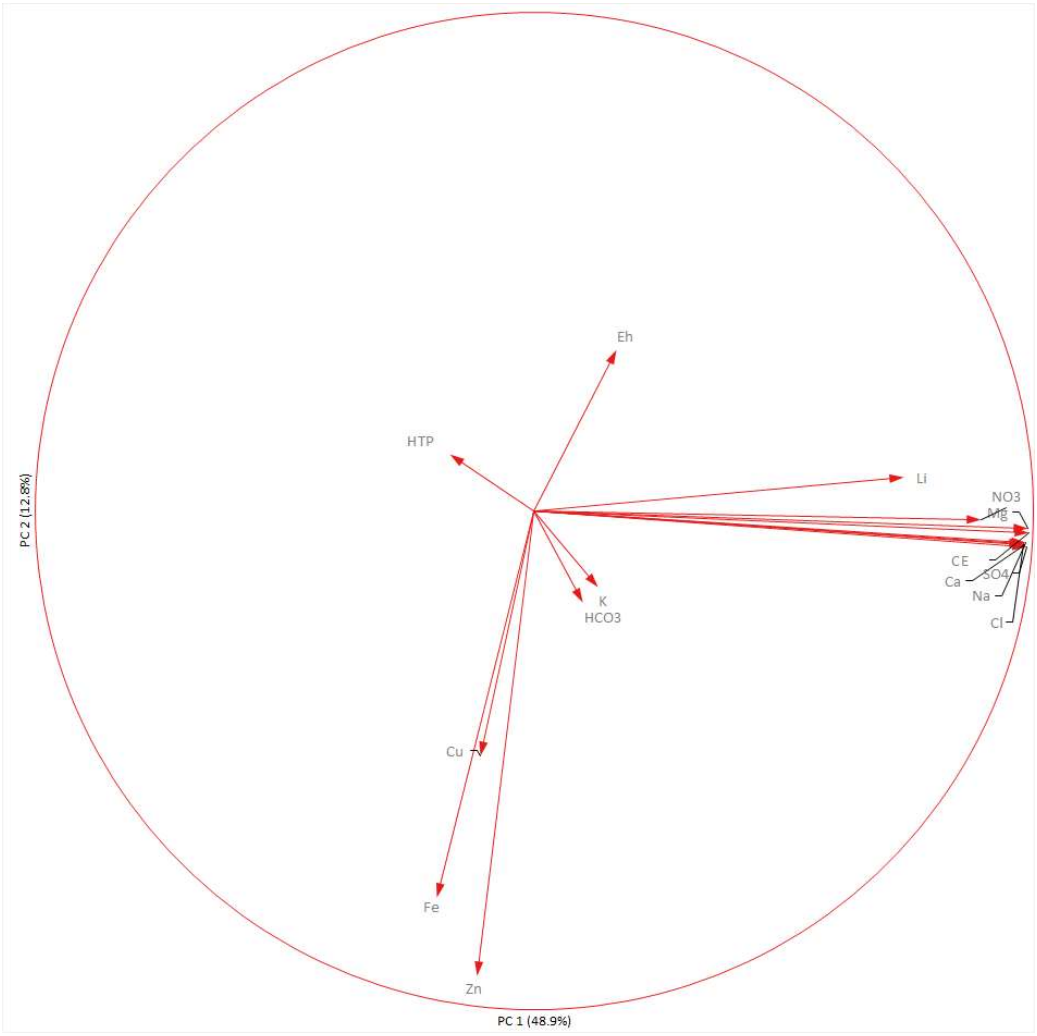


Figura 4.21 – "Monoplot" dos resultados da PCA usando as análises químicas das águas subterrâneas

Pode observar-se que a 1.ª PC explica cerca de 50% da variância total do conjunto de dados e, cumulativamente com a segunda categoria de amostras de água, os dois primeiros PC contribuem com 61,7% da variância. Os elementos pertencentes à mesma PC (cf. Quadro 4.4) e com vetores no mesmo quadrante (Figura 4.21) sugerem que as variáveis estão correlacionadas e derivam de processos comuns. O mesmo se passa para os metais pesados Fe e Zn e, com menor expressão, o Cu. Nem todas as variáveis têm uma boa representação, *e.g.* HTP, Eh, K, HCO3 (cf. extensão curta da seta).

4.4.3 Adequabilidade química da água para uso agrícola

A Figura 4.22 apresenta a classificação das águas para irrigação mostrando a predominância das classes C3S1, C4S1 e C4S2, isto é, águas de alto a muito alto risco de salinização e de baixo a médio risco de alcalização. Importa que a qualidade da água seja tida em consideração nos planos de rega e fertilização por forma a evitar a salinização irreversível dos solos.

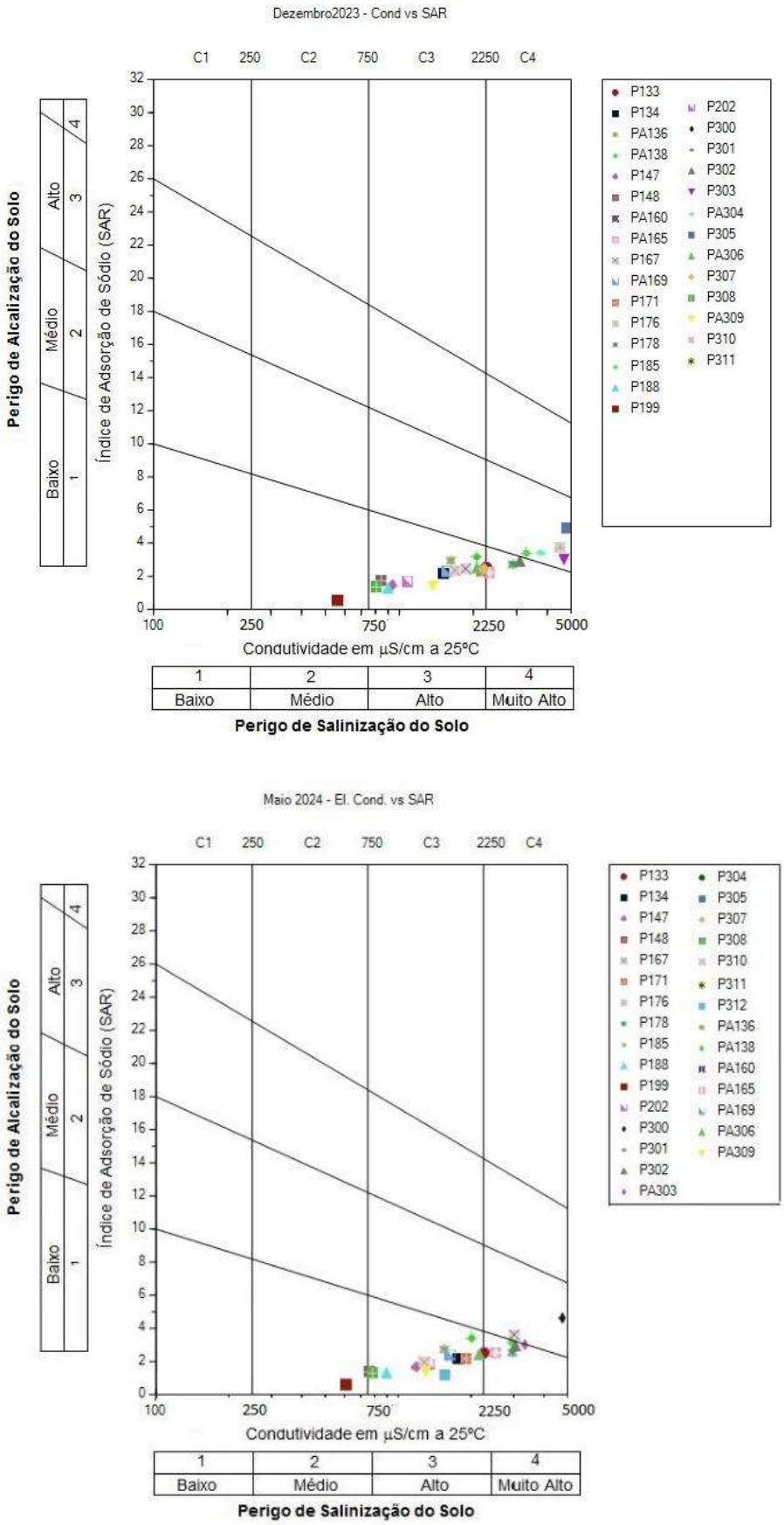


Figura 4.22 – Diagrama de Wilcox com a projeção aptidão para uso agrícola das águas subterrâneas

5 | Caracterização da influência da maré nas águas subterrâneas

5.1 Introdução

Neste capítulo apresentam-se os resultados da monitorização contínua da condutividade elétrica (CE), temperatura e dos níveis piezométricos, e o cálculo de índices hidrogeoquímicos, para o estudo da influência da maré na qualidade das águas subterrâneas, e a análise de eventuais processos de intrusão marinha na área de estudo.

5.2 Metodologia

5.2.1 Sondas de medição contínua de condutividade elétrica, temperatura e nível piezométrico

Para cumprir os objetivos propostos foram instaladas uma sonda barométrica e três sondas CTD (*conductivity*, *temperature and depth*) nos poços P167, P199 e P310 no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26, para registo contínuo da CE, temperatura e da profundidade ao nível da piezométrico (através da variação da pressão da coluna de água).

A localização dos poços monitorizados pode ser visualizada na Figura 3.2. Os três poços selecionados encontram-se a uma distância equivalente à linha de costa, cobrindo a zona norte, centro e sul da área de estudo.

O Quadro 5.1 apresenta as características e as medições efetuadas nos poços instrumentados para o estudo dos níveis de água subterrânea e do efeito da influência da maré na qualidade das águas subterrâneas.

Quadro 5.1 – Características dos pontos monitorizados e valores de medições efetuadas no decurso da instalação de sondas automáticas CTD

Ponto*	Altitude** (m)	Distância à linha de costa*** (m)	ID da sonda	Data	Hora	Prof. ao nível piezométrico (m)	Ponto de medição desde o solo (m)	Cota do nível piezométrico (m)
P167	3,04	685	X6066	2023/12/19	11:10	2,61	0,61	1,04
P199	4,65	665	G7900	2023/12/19	12:15	3,45	0,39	1,59
P310	8,29	660	G7950	2023/12/19	12:07	7,02	0,25	1,52

* Ver outras características dos pontos no Quadro 3.1

** Origem dos valores da altitude (cota do terreno): modelo digital do terreno cedido pela Câmara Municipal de Almada

*** Distância à linha de costa: desde o poço à linha de costa em linha reta (medidas com recurso ao SIG ArcGis)

O poço P167 insere-se na zona a norte numa área cujo território é caracterizado por residências dispersas inseridas em campos com atividade agrícola. O poço P199 encontra-se junto à Estrada Florestal ER377-2, numa área constituída por aglomerado urbano edificado, e o Poço P310 localiza-se

junto de residências inseridas numa área de floresta, com campos agrícolas e alguma atividade pecuária de exploração familiar (como por exemplo capoeiras para galinhas, currais para cabras e um estábulo para cavalos). Os poços P167 e P310 são utilizados para fins agrícolas e o poço P199 não é utilizado.

5.2.2 Índices hidrogeoquímicos

As relações entre os iões dissolvidos na água, ou índices hidrogeoquímicos, são geralmente utilizadas para auxiliar na análise da origem da água ou da intrusão marinha em aquíferos costeiros, onde todos os valores são expressos em meq/L, tal como indica o símbolo r. As relações iónicas mais utilizadas são as seguintes (Custódio e Llamas, 1976):

- Relação rMg^{2+}/rCa^{2+}

A relação rMg^{2+}/rCa^{2+} em águas doces continentais varia frequentemente entre 0,3 e 1,5 e para a água do mar podem atingir valores de 5. As águas que circulam por terrenos de formação marinha ou que tenham sofrido mistura com a água do mar têm também uma relação elevada. Uma elevação do conteúdo em cloretos e da relação rMg^{2+}/rCa^{2+} pode ser um bom indício de intrusão marinha.

- Relação rK^{+}/rNa^{+}

Esta relação pode variar entre 0,001 e 1 em águas doces, sendo mais frequente que varie entre 0,004 e 0,3 (Schoeller, 1956) enquanto para a água marinha fica no intervalo de 0,02 a 0,025.

Os trabalhos realizados na ilha vulcânica de Lanzarote, Custódio (1974), indicam uma tendência a decrescer a relação rK^{+}/rNa^{+} conforme aumenta a salinidade, passando desde valores de 0,05 para águas com um resíduo seco em torno de 1000 mg/L a valores de 0,02 para águas com um resíduo seco de mais de 4000 mg/L.

- Relação $rCl^{-}/rHCO_3^{-}$

A relação $rCl^{-}/rHCO_3^{-}$ é especialmente útil na caracterização da intrusão marinha já que em águas continentais tem valor entre 0,1 e 5 e na água do mar varia entre 20 e 50 em Custódio e Llamas (1976). Se o aumento de cloretos é devido a concentração de sais em zonas de recarga, a relação cresce muito menos para igual aumento de cloretos que por intrusão marinha.

A razão $rCl^{-}/rHCO_3^{-}$ tende a ser tanto maior quanto maior a salinidade da água subterrânea.

5.3 Resultados obtidos

O Quadro 5.2 apresenta os registos da profundidade ao nível piezométrico (valores máximos, mínimos, médios e a amplitude) obtidos com as sondas automáticas CTD nos poços P167, P199 e P310 no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26 e o Quadro 5.3 apresenta as cotas dos níveis piezométricos (ou níveis piezométricos). Os resultados indicaram níveis piezométricos médios de 1,04 m (P167), 1,60 m (P199) e 1,51 m (P310), nos poços P167, P199 e P310 respetivamente.

Quadro 5.2 – Valores da profundidade ao nível piezométrico (m) registados com sondas automáticas no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26

Ponto	Máximo	Mínimo	Média	Amplitude
P167	2,06	1,89	1,99	0,18
P199	3,09	2,97	3,05	0,12
P310	6,91	6,73	6,78	0,19

Quadro 5.3 – Valores dos níveis piezométricos (m) registados com sondas automáticas no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26

Ponto	Máximo	Mínimo	Média	Amplitude
P167	1,15	0,97	1,04	0,18
P199	1,68	1,56	1,60	0,12
P310	1,57	1,38	1,51	0,19

As Figura 5.1, Figura 5.2 e Figura 5.3 apresentam a oscilação dos níveis piezométricos e da CE nos poços P167, P199 e P310, juntamente com a variação da precipitação diária e da maré. Os valores dos níveis piezométricos resultaram dos registos efetuados com as sondas automáticas CTD de medição contínua instaladas de acordo com o Quadro 5.1. Utilizaram-se os registos da precipitação diária do IPMA da estação de Almada (Praia da Rainha) e os valores da maré resultantes da previsão efetuada por Carlos Antunes, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, para o marégrafo de Cascais (zero hidrográfico = 2.08 m), disponíveis no site https://webpages.ciencias.ulisboa.pt/~cmantunes/hidrografia/CascaisFCUL2024.TXT.

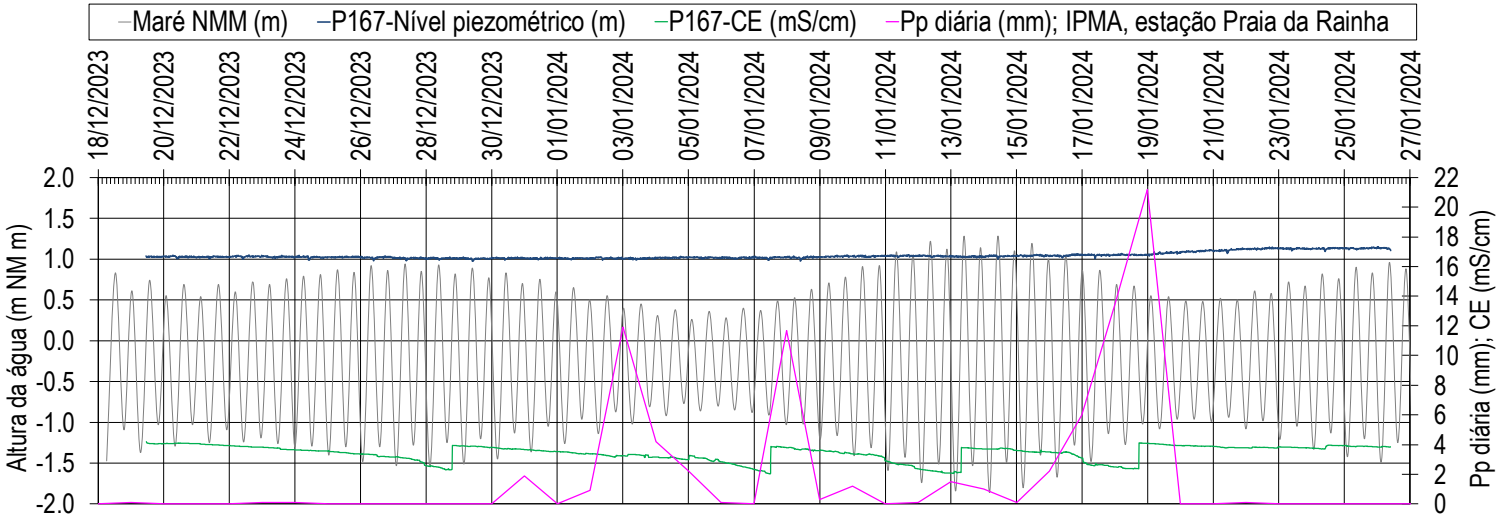


Figura 5.1 – Oscilação do nível piezométrico no poço P167, variação da maré e precipitação no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26

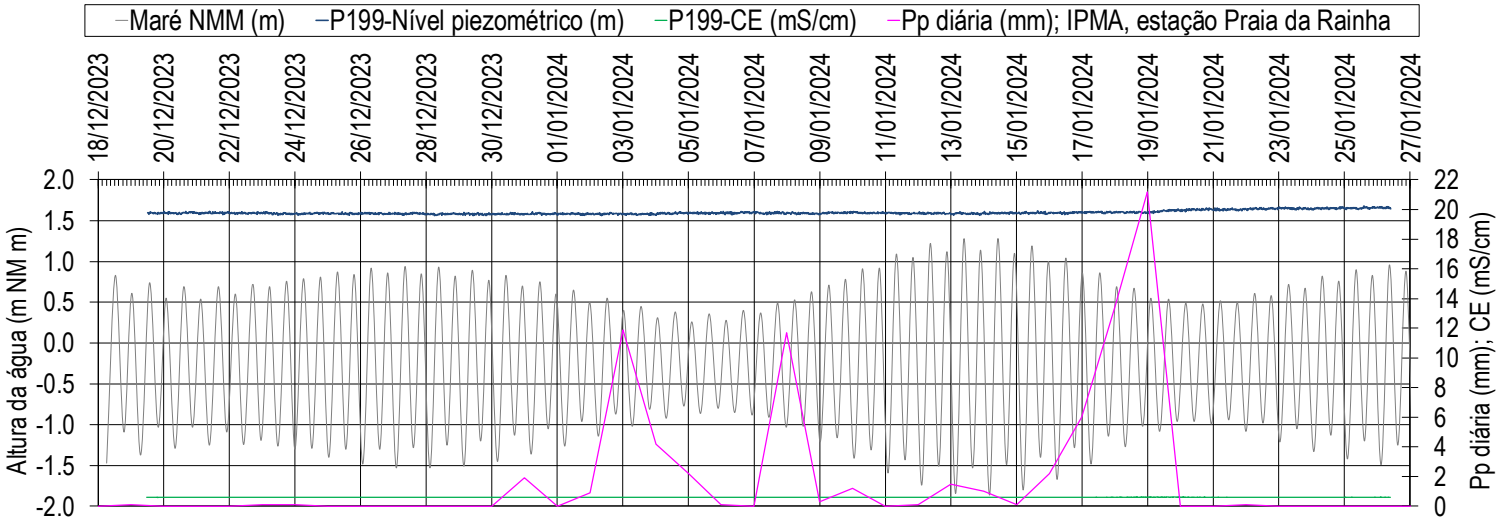


Figura 5.2 – Oscilação do nível piezométrico no poço P199, variação da maré e precipitação no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26

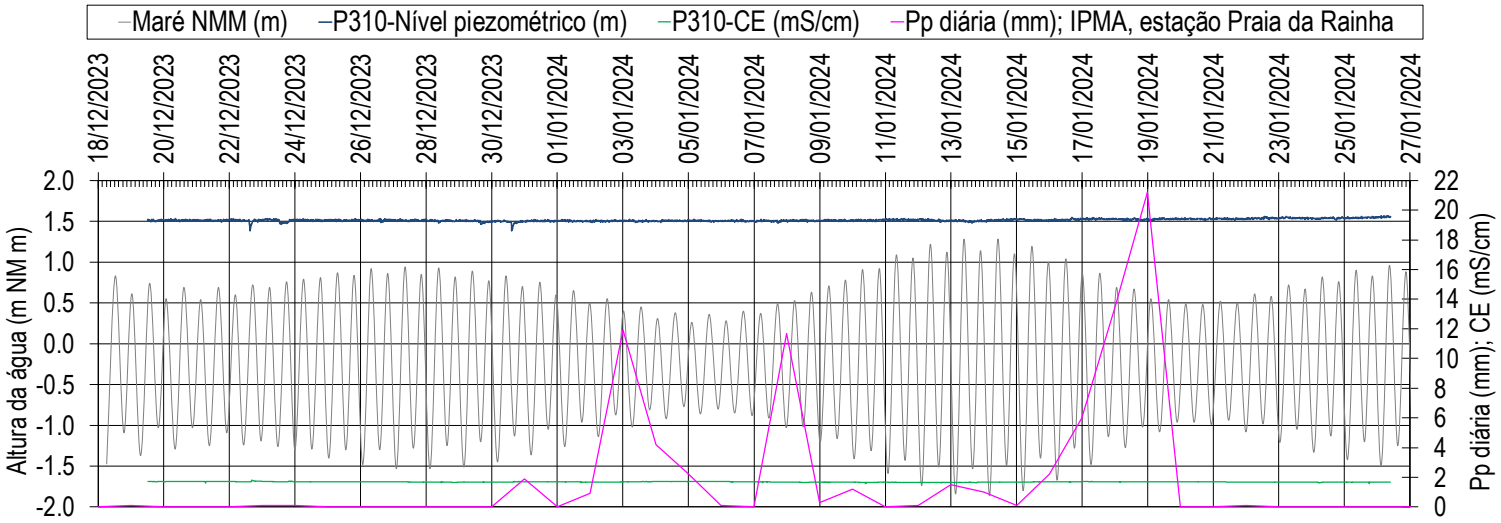


Figura 5.3 – Oscilação do nível piezométrico no poço P310, variação da maré e precipitação no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26

Os resultados indicam que a oscilação do nível piezométrico induzida pela variação da maré é pouco significativa. As amplitudes da variação do nível piezométrico variam entre 0,18 m, 0,12 m e 0,19 m nos poços P167, P199 e P310 respetivamente. A influência da precipitação nos níveis piezométricos é observada após episódios de precipitação mais intensa. Uma análise mais pormenorizada permite verificar descidas dos níveis piezométricos no período da manhã no P167, correspondente às horas de rega dos campos agrícolas, seguidas de uma rápida recuperação.

O Quadro 5.4 apresenta a síntese dos valores da CE máximos, mínimos, médios e a diferença entre o valor máximo e mínimo (Máximo-Mínimo), registados com as sondas automáticas. O valor mínimo da CE (616 µS/cm) foi registado no poço P199 e o valor máximo (4100 µS/cm) no poço P167. A variação da CE é pouco significativa, à exceção no poço P167 onde se observam maiores variações da CE, algumas vezes após eventos de precipitação possivelmente responsáveis por promover a lixiviação de sais presentes nos solos para a água subterrânea (Figura 5.1). A maior diferença entre o valor máximo e mínimo foi igual a 2 072 µS/cm; registou-se igualmente neste poço situado numa área com atividade agrícola mais intensa.

Quadro 5.4 – Valores de CE (µS/cm) registados com as sondas automáticas no período entre 2023/12/19 e 2024/01/26

Ponto	Máximo	Mínimo	Média	Máximo-Mínimo
P167	4100,00	2028,00	3422,82	2072,00
P199	616,00	588,00	608,04	28,00
P310	1812,00	1576,00	1692,18	236,00

As Figura 5.4 à Figura 5.6 apresentam os resultados obtidos na aplicação dos índices hidrogeoquímicos, nomeadamente as relações de $rCl^-/rHCO_3^-$, rMg^{2+}/rCa^{2+} e rK^+/rNa^+ (cf. Secção 5.2.2).

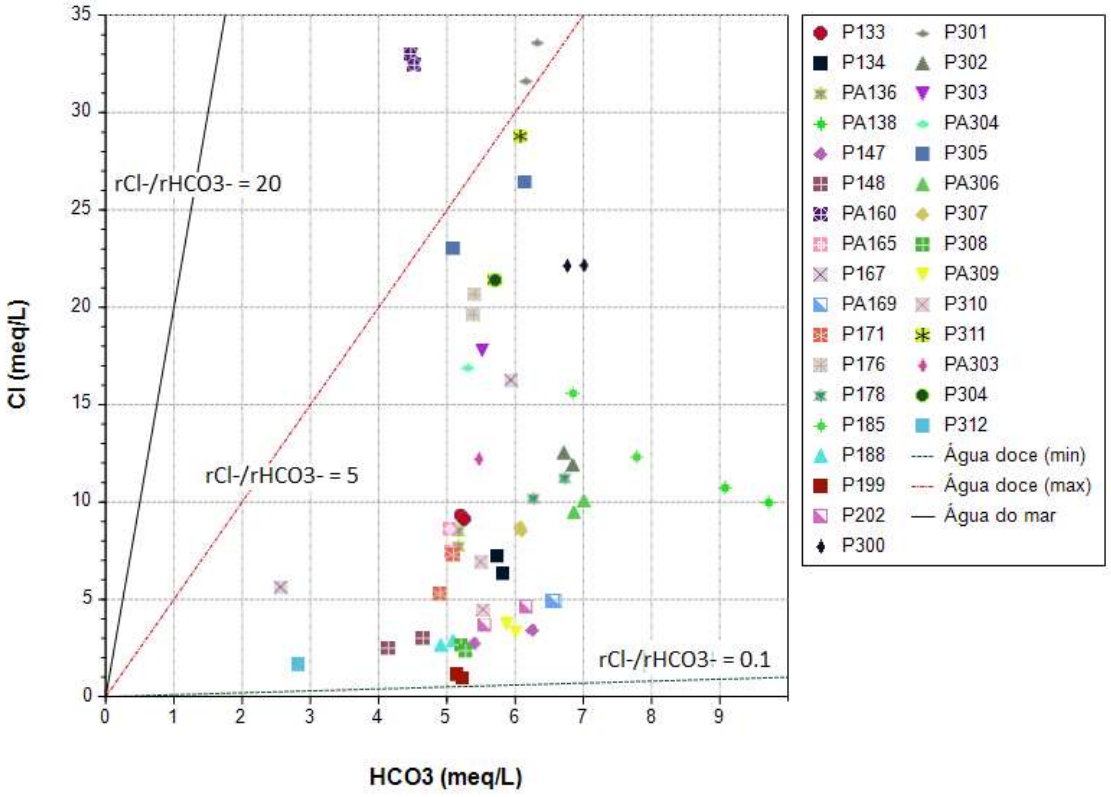


Figura 5.4 – Relação do índice iónico $rCl^-/rHCO_3^-$ nas 59 amostras de águas subterrâneas

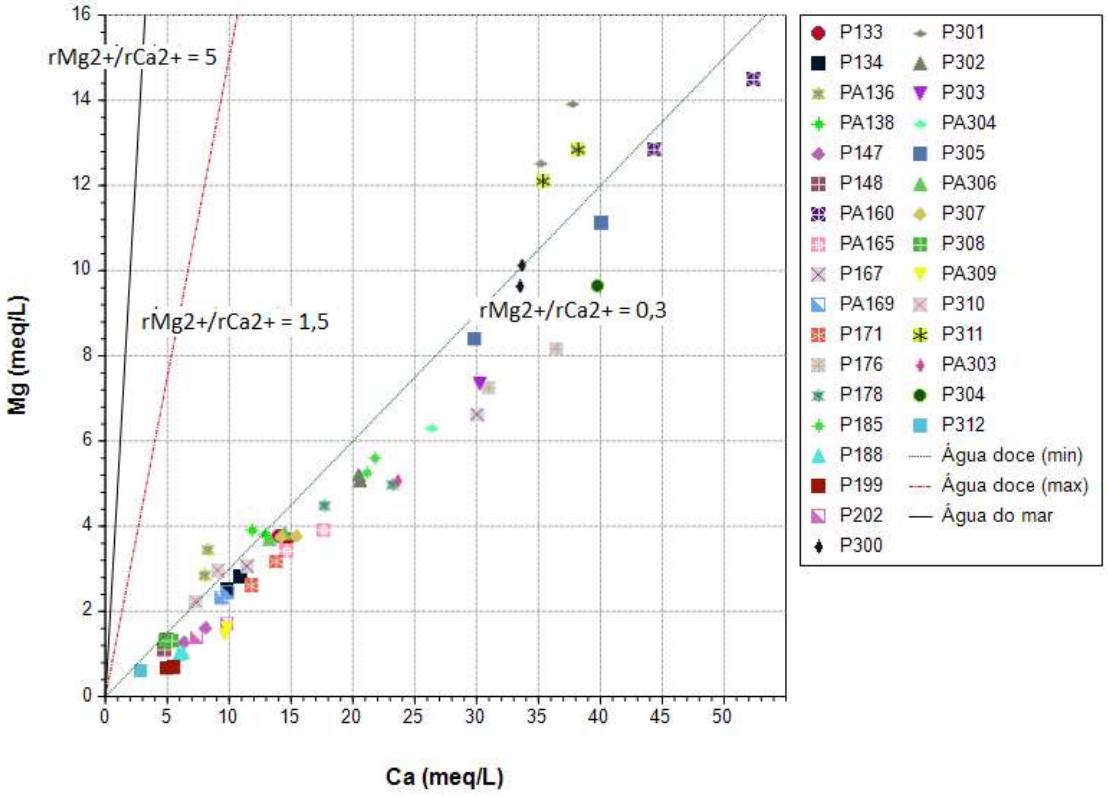


Figura 5.5 – Relação do índice iónico rMg^{2+}/rCa^{2+} nas 59 amostras de águas subterrâneas

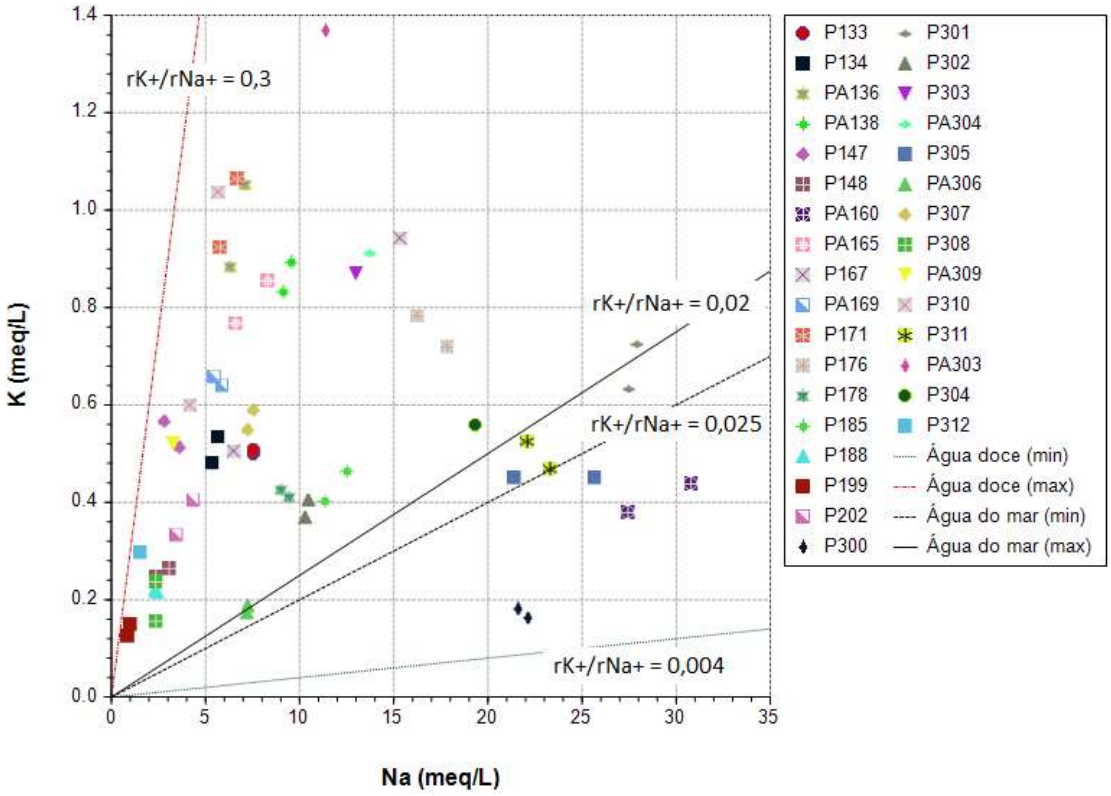


Figura 5.6 – Relação do índice iónico rK^+/rNa^+ nas 59 amostras de águas subterrâneas

Os índices hidrogeoquímicos obtidos ($rCl^-/rHCO_3^-$ maioritariamente entre 0,1 e 5, rMg^{2+}/rCa^{2+} apresentando um valor de aproximadamente 0,3, e rK^+/rNa^+ de todas as amostras dentro do intervalo de 0,004 a 0,3) apontam para águas doces com contribuição continental.

6 | Caracterização da recarga anual das águas subterrâneas

6.1 Introdução

A modelação da recarga natural das águas subterrâneas foi realizada com recurso ao modelo BALSEQ_MOD (Oliveira, 2004, 2006). Este modelo faz o balanço hídrico a nível do solo, incorporando metodologias para cálculo de forma sequencial diária dos processos de infiltração no solo, evapotranspiração real e infiltração profunda do solo. O modelo é corrido para cada fração de território onde se possa assumir homogeneidade do solo e da ocupação do solo; neste modelo cada ocupação do solo pode ser descrita por até três cobertos diferentes: solo com coberto 1, solo com coberto 2, e solo descoberto. O modelo BALSEQ_MOD tem como antecedentes o modelo BALSEQ desenvolvido por Lobo Ferreira (1981, 1982) para a estimativa da recarga de águas subterrâneas na ilha de Porto Santo.

A infiltração superficial é calculada em função da textura do solo, da precipitação diária e do teor de humidade do solo. A evapotranspiração potencial é calculada com base na evapotranspiração de referência e nos parâmetros que definem o ciclo vegetativo dos cobertos vegetais (coeficientes culturais, períodos de crescimento, variação da área ocupada pelos cobertos, altura máxima das plantas). A evapotranspiração real é calculada com base na evapotranspiração potencial, na profundidade das raízes das plantas, nos parâmetros do solo (retenção específica e ponto de emurchecimento permanente) e no armazenamento de água no solo. A infiltração profunda é calculada em função da condutividade hidráulica saturada e da água armazenada no solo que pode drenar por ação da gravidade. A água de infiltração profunda é utilizada como um estimador da recarga da zona saturada mais próxima da superfície.

A descrição da metodologia programada no modelo BALSEQ_MOD pode ser encontrada, entre outros, em Oliveira (2004, 2006) e Oliveira *et al.* (2008).

Para a corrida do modelo gerou-se uma série de precipitação diária e uma série de evapotranspiração de referência diária, com base em dados disponibilizados pelo SNIRH, tendo-se considerado um período de 40 anos, entre 1 de outubro de 1983 e 30 de setembro de 2023. Os procedimentos são apresentados nas secções seguintes. A corrida do modelo foi feita para cada subárea da bacia hidrográfica resultante da interseção do mapa de ocupação dos solos Corine Land Cover 2018, disponibilizado pelo programa *Copernicus*, com o mapa de solos da Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR), tendo sido feitas algumas correções que serão referidas nas respetivas secções.

Cada corrida originou, para todas as subáreas, séries diárias de recarga, escoamento direto e evapotranspiração. Cada série pode ser utilizada individualmente ou integrada para a bacia hidrográfica, ou somente para a área das Terras da Costa, para produzir séries diárias, mensais ou anuais de recarga, podendo-se assim caracterizar a distribuição espaciotemporal de cada um destes processos.

Nas secções seguintes apresentam-se os procedimentos realizados para a caracterização da informação necessária à corrida do modelo e apresentam-se os resultados obtidos.

6.2 Informação de base para o cálculo do balanço hídrico sequencial diário

6.2.1 Dados meteorológicos

Para a caracterização das séries meteorológicas utilizaram-se os dados registados na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica, pertencente à rede da Agência Portuguesa do Ambiente, disponíveis no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH, https://snirh.apambiente.pt/). Esta estação foi selecionada por ser a mais próxima da área de estudo, tendo também já sido utilizada em estudos anteriores (*e.g.*, Caria *et al.*, 2013). Foram recolhidos dados diários dos seguintes processos: precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima, humidade relativa máxima, humidade relativa mínima, radiação solar, velocidade do vento média e pressão atmosférica. Estes dados existem disponíveis para cada dia ou, na maior parte dos casos a partir de 2001, de forma horária, sendo os valores diários calculados a partir destes. O período de estudo, de 40 anos, entre 1 de outubro de 1983 e 30 de setembro de 2023, apresentou diversas lacunas, tendo estas sido preenchidas recorrendo a dados de estações próximas, como referido em pormenor no Anexo III.

Com base no preenchimento de lacunas utilizando os procedimentos descritos no Anexo III, secção A.III.1, foi calculada a série de precipitação diária média em Monte da Caparica que foi utilizada para correr o modelo BALSEQ_MOD (Figura 6.1). Os valores anuais de precipitação são apresentados na Figura 6.2. A precipitação média dos 40 anos foi estimada em 644 mm/ano. Apesar de se ter utilizado uma série de dados de precipitação mais extensa e procedimentos de preenchimento de lacunas e correções de dados distintas, este valor médio é muito semelhante ao de Caria *et al.* (2013) (cf. secção 2.6.5).

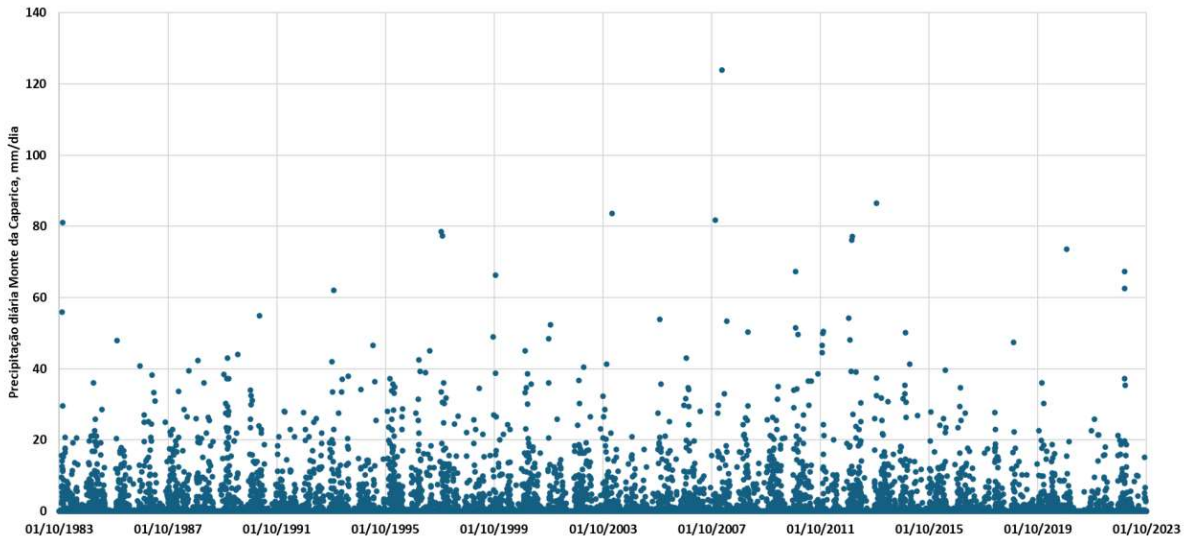


Figura 6.1 – Precipitação diária estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica

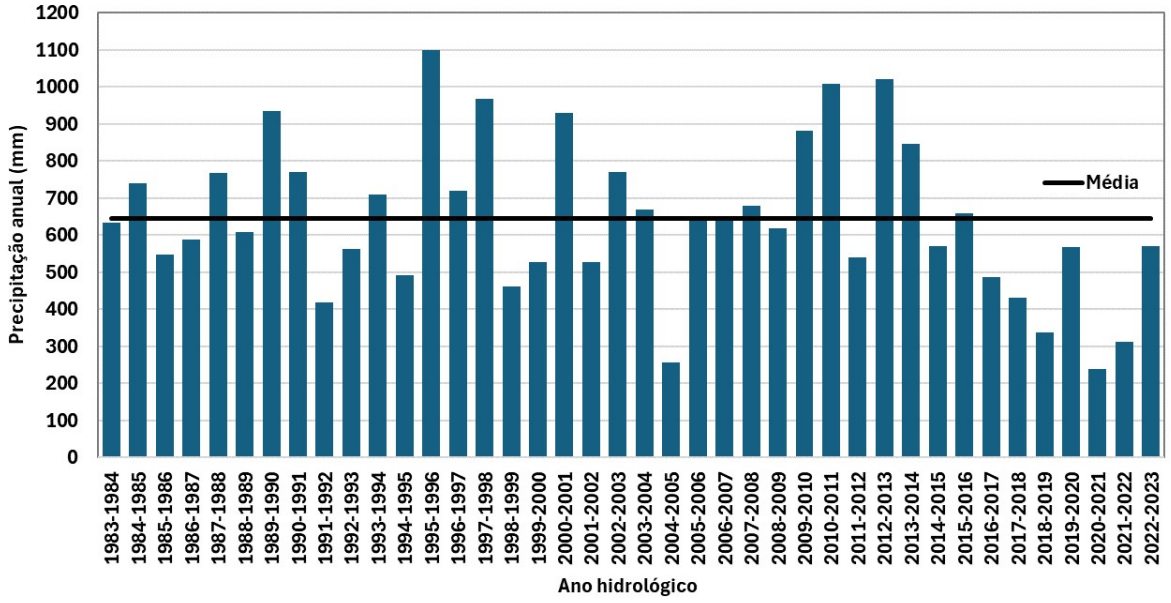


Figura 6.2 – Precipitação anual estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica

6.2.2 Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada utilizando o método de Penman-Monteith da FAO, apresentado em Allen *et al.* (1998):

$$ET_o = \frac{0{,}408.\Delta.(R_n - G) + \gamma.\frac{900}{T+273}.u_2.(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma.(1 + 0{,}34.u_2)}$$

sendo:

ET_o a evapotranspiração de referência (mm/d);

R_n a radiação útil na superfície do coberto vegetal (MJ/m^2/d);

G a densidade do fluxo de calor do *solo* (MJ/m^2/d);

T a temperatura diária média a 2 m de altitude (°C);

u_2 a velocidade do vento a 2 m de altitude (m/s);

e_s a pressão do vapor de saturação (kPa);

e_a a pressão de vapor (kPa);

$e_s - e_a$ o défice da pressão do vapor de saturação (kPa);

Δ a tangente da curva de pressão de vapor (kPa/°C);

γ a constante psicrométrica (kPa/°C).

O cálculo de cada uma destas variáveis encontra-se pormenorizadamente descrito em Allen *et al.* (1998), estando dependentes dos dados meteorológicos apresentados no Anexo A.III.2, da latitude do local, que neste caso se considerou ser a da estação meteorológica de Monte da Caparica

(38,660921º), da altitude do local (96 m), e da altura do anemómetro para medição da velocidade do vento, que se considerou ser de 2 m.

Utilizando os procedimentos descritos no Anexo A.III.2, fez-se o preenchimento das séries diárias de temperatura máxima, temperatura mínima, humidade relativa máxima, humidade relativa mínima, radiação solar, velocidade do vento média e pressão atmosférica, que foram utilizadas no cálculo da evapotranspiração de referência. A Figura 6.3 mostra a sua evolução ao longo do tempo e a Figura 6.4 o seu valor por ano hidrológico. O valor anual médio é de 1012 mm/ano.

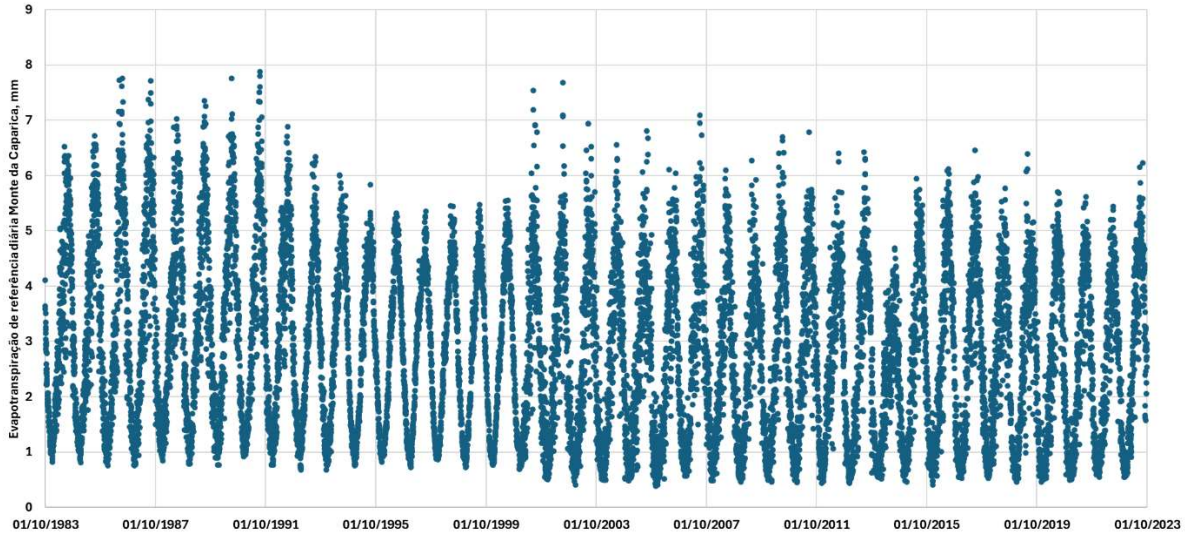


Figura 6.3 – Evapotranspiração de referência calculada para a estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica

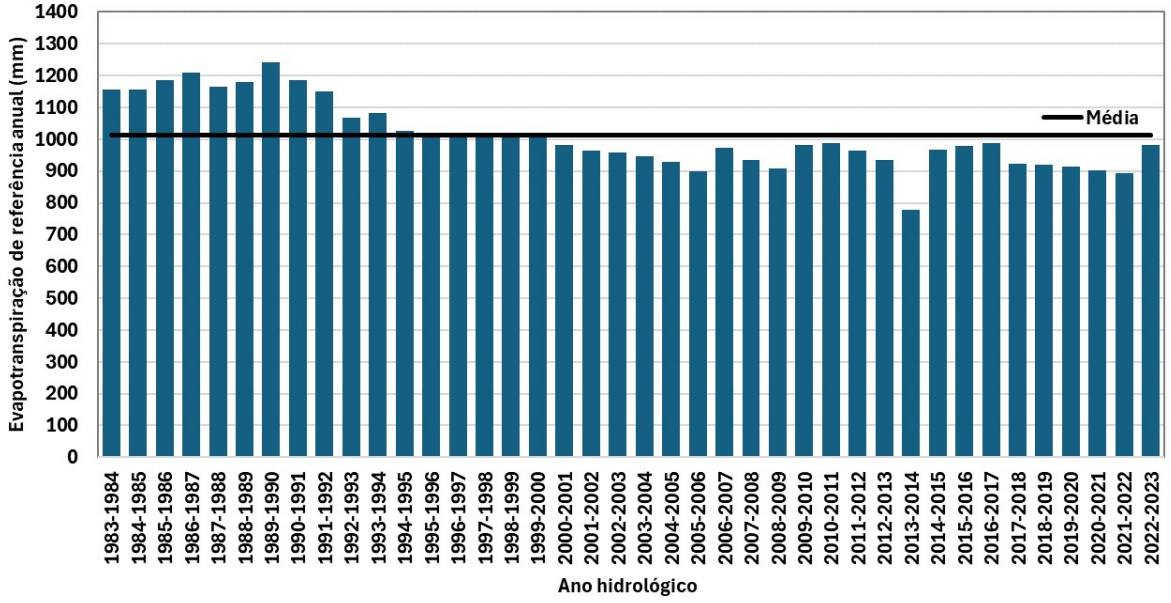


Figura 6.4 – Evapotranspiração de referência anual estimada para a estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica

6.2.3 Solos

Embora a informação dependente de cada solo possa resultar de análises de perfis de solos específicos de um local a estudar, para a generalidade da área esses perfis não existem. Para ultrapassar esta situação recorreu-se ao trabalho desenvolvido por Oliveira (2004, 2006) que procedeu à interpretação dos dados de perfis de solos publicados em SROA (1973), tendo caracterizado os parâmetros necessários à corrida do modelo, nomeadamente, porosidade, porosidade eficaz, ponto de emurchecimento permanente, condutividade hidráulica vertical e material do horizonte superior do solo.

Os perfis de solos referidos correspondem aos da Cartografia de Solos à escala 1:25 000 (Sul), atualmente disponibilizada *online* pela Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR) no sítio do Sistema Nacional de Informação do Solo (SNIS) (extraído de https://portalgeo.dgadr.pt/portal/sharing/rest/content/items/4debf4ac4eef4122ab3086f8cf27f256/data em 2023-01-26).

Na área da bacia hidrográfica, cada polígono da cartografia de solos pode representar um único solo ou uma associação de dois solos, estando-lhe associada informação relativamente à sua fase (delgada, espessa, etc.) e a proporção ocupada por cada solo dentro da associação. A Figura 6.5 ilustra a distribuição dos diferentes solos cartografados para o caso do primeiro solo da associação. A classificação dos solos é apresentada no Quadro 6.1.

Como se pode verificar na Figura 6.5, há uma grande zona desta cartografia que foi identificada como área social quando na realidade corresponde a áreas de praias, dunas, matos e zonas interiores (cf. carta de ocupação do solo, secção 6.2.4). Nestes casos recorreu-se à correspondência entre a cartografia geológica e a de solos que se pode estabelecer fora destas áreas, classificando-se depois os solos das áreas sociais utilizando essa correspondência com a geologia. A Figura 6.6 mostra o resultado da classificação dos solos utilizando este procedimento.

Na área da bacia hidrográfica existem 17 solos predominantes diferentes e há seis solos que aparecem na segunda posição da associação de solos (dos quais cinco solos já existiam também como solos predominantes). O Quadro 6.2 refere os solos presentes nesta área, indicando o número de polígonos em que ocorrem e a soma da área que ocupam.

Na área das Terras da Costa existem oito solos predominantes e há dois solos que aparecem na segunda posição da associação, nenhum dos quais ocorria como solo predominante. O Quadro 6.3 refere esses solos, o número de polígonos em que ocorrem e a soma da área que ocupam.

Para todos os solos identificados, a caracterização dos parâmetros de corrida do modelo BALSEQ_MOD é apresentada no Quadro 6.4.

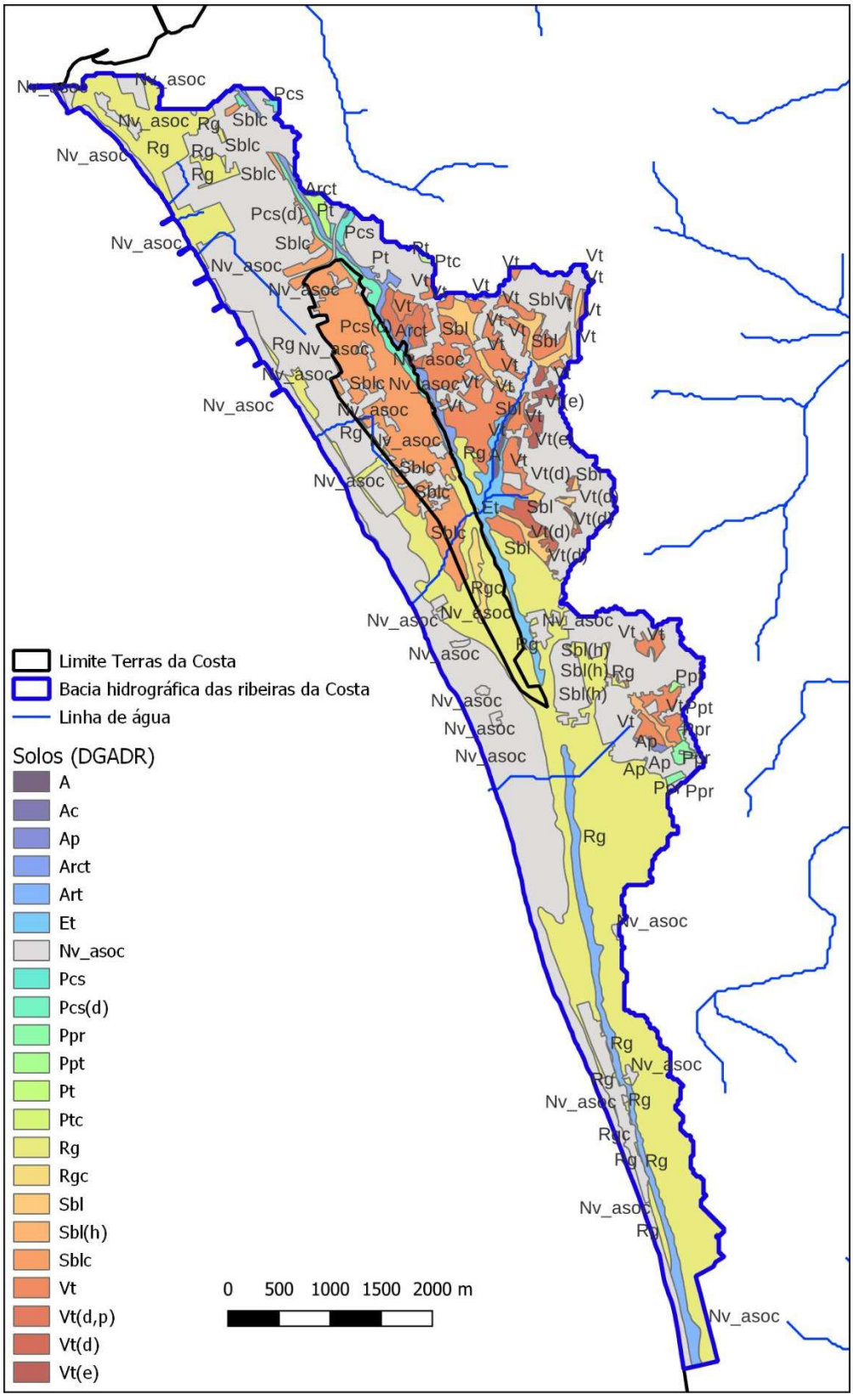


Figura 6.5 – Solos predominantes na totalidade da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

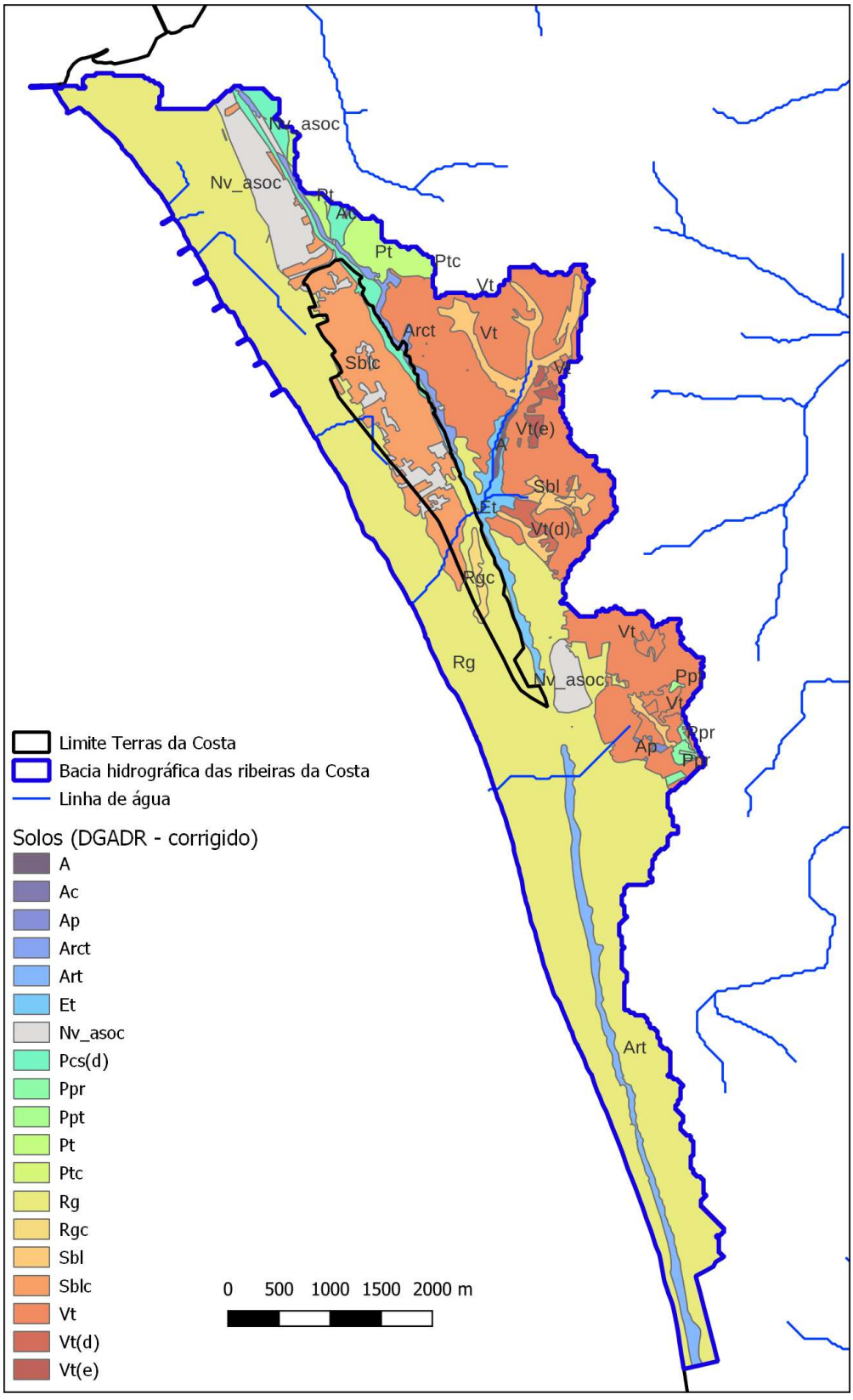


Figura 6.6 – Solos predominantes corrigidos com informação da geologia e da carta de ocupação do solo para a totalidade da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Quadro 6.1 – Classificação dos solos presentes nas áreas de estudo

Solo	Classificação	Área da bacia hidrográfica	Área das Terras da Costa
A	Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de textura mediana	√	-
Ac	Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Calcários, (Para-Solos Calcários), de textura mediana	√	-
Ap	Solos Podzolizados - Podzóis (Não Hidromórficos), Sem Surraipa, Normais, de areias ou arenitos	√	-
Arct	Afloramento Rochoso de arenitos calcários	√	√
Art	Afloramento Rochoso de arenitos	√	√
Et	Solos Incipientes - Litossolos dos Climas de Regime Xérico, de outros arenitos	√	√
Nv_asoc	---- Áreas sociais ----	√	√
Pcs	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de margas ou materiais afins	√	√
Ppr	Solos Podzolizados - Podzóis, (Não Hidromórficos), Com Surraipa, com A2 incipiente, de materiais arenáceos pouco consolidados	√	-
Ppt	Solos Podzolizados - Podzóis, (Não Hidromórficos), Com Surraipa, com A2 incipiente, de ou sobre arenitos	√	-
Pt	Solos Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados, Normais, de arenitos finos micáceos (de textura arenosa a franco-arenosa)	√	-
Ptc	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de arenitos finos calcários (de textura franco-arenosa a franca)	√	-
Rg	Solos Incipientes - Regossolos Psamíticos, Normais, não húmidos	√	√
Rgc	Solos Incipientes - Regossolos Psamíticos, Para-Hidromórficos, húmidos cultivados	√	√
Sbc	Solos Incipientes - Solos de Baixas (Coluviossolos), Calcários. (Para-Solos Calcários), de textura mediana	√	√
Sbl	Solos Incipientes - Solos de Baixas (Coluviossolos), Não Calcários, de textura ligeira	√	-
Sblc	Solos Incipientes - Solos de Baixas (Coluviossolos), Calcários, (Para-Solos Calcários), de textura ligeira	√	√
Vt	Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados Normais, de arenitos grosseiros	√	√

Quadro 6.2 – Solos, número de ocorrências e respetivas áreas na área da bacia hidrográfica

Solo	Solo principal		Solo 2 da associação	
	n.º ocorrências	Área (km²)	n.º ocorrências	Área (km²)
A	1	0,033	-	-
Ac	2	0,004	-	-
Ap	5	0,014	-	-
Arct	16	0,255	-	-
Art	10	0,472	12	0,225
Et	9	0,354	-	-
Nv_asoc	29	0,194	-	-
Pcs	41	0,411	-	-
Ppr	15	0,068	-	-
Ppt	3	0,009	6	0,045
Pt	10	0,397	-	-
Ptc	2	0,001	1	0,056
Rg	185	10,946	-	-
Rgc	2	0,077	-	-
Sbc	-	-	33	1,444
Sbl	52	0,593	6	0,079
Sblc	52	2,284	-	-
Vt	153	4,282	41	0,371

Quadro 6.3 – Solos, número de ocorrências e respetivas áreas na área das Terras da Costa

Solo	Solo principal		Solo 2 da associação	
	n.º ocorrências	Área (km²)	n.º ocorrências	Área (km²)
Arct	4	0,0137	-	-
Art	-	-	4	0,0137
Et	4	0,0190	-	-
Nv_asoc	1	0,0000	-	-
Pcs	10	0,0831	-	-
Rg	13	0,5172	-	-
Rgc	1	0,0703	-	-
Sblc	33	1,4127	-	-
Sbc	-	-	18	1,1924
Vt	1	0,0003	-	-

Quadro 6.4 – Caracterização dos parâmetros dependentes dos solos para a corrida do modelo de balanço hídrico

SROA	fc	wp	fi	Ks_mm_d	solo_sup
A	0,27	0,12	0,44	91,32	7
Ac	0,31	0,18	0,44	17,11	10
Ap	0,11	0,05	0,32	5840	2
Arct	0,05	0,02	0,15	0,1	5
Art	0,05	0,02	0,15	0,1	5
Et	0,30	0,16	0,48	354,3	2
Nv_asoc	-	-	-	-	-
Pcs	0,30	0,06	0,45	433	6
Ppr	0,17	0,08	0,44	1162	2
Ppt	0,19	0,07	0,33	639,5	7
Pt	0,14	0,04	0,45	3569,6	7
Ptc	0,36	0,07	0,47	314,8	11
Rg	0,09	0,04	0,44	5040	1
Rgc	0,15	0,07	0,44	5040	1
Sbc	0,31	0,16	0,50	316,8	11
Sbl	0,22	0,06	0,43	308,3	7
Sblc	0,13	0,05	0,41	548,8	2
Vt	0,13	0,04	0,38	1080,6	7

fc = porosidade eficaz, wp = ponto de emurchecimento permanente, fi = porosidade, Ks = condutividade hidráulica vertical e solo_sup = código do material do horizonte superior do solo (1-arenoso, 2-arenoso franco, 3-franco arenoso, 4-franco limoso, 5-argiloso, 6-franco, 7-franco arenoso, 8-franco argilo-arenoso, 9-franco argilo-limoso, 10-franco argiloso, 11-franco limoso, 12-limoso).
Origem: Oliveira (2004), com fc e wp de Ap alterados para os de Apr (devido a serem anormalmente baixos).

6.2.4 Ocupação do solo

Na área em estudo ocorrem as classes de ocupação do solo, e respetivas áreas, referidas no Quadro 6.5 de acordo com a cartografia do Corine Land Cover 2018 (extraído de https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download, em 2023/01/23). A Figura 2.4 (secção 2.4) ilustra a distribuição destas áreas.

Quadro 6.5 – Classes de ocupação do solo Corine Land Cover 2018 e respetivas áreas

Código Corine Land Cover – Descrição	Área total (km²)	
	Bacia hidrográfica	Terras da Costa
111 - Tecido urbano contínuo	1,170	0,026
112 - Tecido urbano descontínuo	4,733	0,062
121 - Indústria, comércio e equipamentos gerais	0,262	-
142 - Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas	0,832	-
142 - Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas (*)	0,430	0,072
231 - Pastagens permanentes	0,404	-
242 - Sistemas culturais e parcelares complexos	2,126	1,793
243 - Agricultura com espaços naturais e seminaturais	0,273	-
312 - Florestas de resinosas	4,475	0,043
313 - Florestas mistas	0,563	-
322 - Matos	2,171	0,117
324 - Florestas abertas, cortes e novas plantações	1,006	0,004
331 - Praias, dunas e areais	1,894	-
Total	**20,338**	**2,116**

(*) Esta área diferencia-se da anterior por possuir uma proporção diferente de área impermeável, razão pela qual foi separada, atribuindo-se nos quadros seguintes o código 142001.

Para cada classe de ocupação do solo apresentam-se, no Quadro 6.6, observações relativamente ao coberto vegetal considerado, ou outra informação considerada pertinente, para representar uma situação tipo desta ocupação do solo na área em estudo. A cada tipo de ocupação do solo correspondem os parâmetros de corrida do modelo apresentados no Quadro 6.7, nomeadamente, para cada coberto considerado na ocupação do solo, indicação se ele é permeável ou não e, se o for, caracterizar os períodos de desenvolvimento dos tipos culturais se eles existirem, a data de início do período de desenvolvimento, as profundidades atingidas pelas raízes das plantas durante os períodos de desenvolvimento e as frações de terreno abrangidas, os seus coeficientes culturais e o limite de depleção de água do solo a 100%. No caso de o coberto conferir impermeabilidade ao meio é necessário definir a fração de área impermeável. Estes parâmetros foram apresentados em Oliveira (2004, 2006) com base na interpretação das tabelas de Allen *et al.* (1998).

Quadro 6.6 – Classes de ocupação do solo e número de culturas/cobertos considerado em cada ocupação do solo

CLC 2018	Classificação	N culturas
111	Tecido Urbano Contínuo (Apenas se encontram zonas impermeáveis e pequenos descampados)	1
112	Tecido Urbano Descontínuo (Ocupação urbana + (Pinhal/relvados) + espaços vazios)	2
121	Indústria, Comércio e equipamentos gerais (ENSE - Depósito POL Nato Lisboa) - 40 % impermeável +10% árvores (pinheiro) + 50% área desocupada)	2
142	Equipamentos desportivos, culturais e de lazer (zonas impermeáveis 20% + pinheiros 70% + desocupado 10%)	2
142001	Equipamentos desportivos, culturais e de lazer (zonas impermeáveis 75% + pinheiros 15% + desocupado 10%)	2
231	Pastagens permanentes (Após observação de imagens *Google Earth*, considerar como 322	1
242	Sistemas culturais e parcelares complexos (couve 50% + milho 50%, para representar os tipos de cultura de inverno e de verão)	2
243	Agricultura com espaços naturais e seminaturais (matos (+ pinheiros) 70% + casas 15% + desocupado 5 %)	2
312	Floresta de resinosas (Pinhal muito denso)	1
313	Florestas mistas (mato + Pinhal)	2
322	Matos	1
324	Florestas abertas, cortes e novas plantações (Matos + Pinhal)	2
331	Praias, dunas e areais	1

Quadro 6.7 – Parâmetros caracterizadores de cada classe de ocupação do solo

CLC 2018	Permeável (i)	Calcula Kcb_esp (i)	Dia_ini (i)	L_ini (i)	L_des (i)	L_med (i)	L_fim (i)	Kcb_ini (i)	Kcb_med (i)	Kcb_fim (i)	h_cult (i)	rp_1 (i)	rp_0 (i)	sld_ (i)	Kc_min (i)	Kcb_tot (i)	fraccao (i)	fraccao_0 (i)	fraccao_nada (i)
111	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,9	0,9	0,9
112	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,5	0,5	0,5
	1	1	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	10	2750	2750	0,7	0,15	0,95	0,3	0,3	0,3
121	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,4	0,4	0,4
	1	1	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	10	2750	2750	0,7	0,15	0,95	0,1	0,1	0,1
142	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,2	0,2	0,2
	1	1	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	10	2750	2750	0,7	0,15	0,95	0,7	0,7	0,7
142001	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,75	0,75	0,75
	1	1	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	10	2750	2750	0,7	0,15	0,95	0,15	0,15	0,15
231	1	0	1	1	1	361	2	0,8	0,8	0,8	1	1000	1000	0,5	0,15	0,8	1	1	1
242	1	1	1	40	60	50	15	0,15	0,95	0,85	1	800	150	0,45	0,15	1	0,5	0,1	0
	1	1	183	30	40	50	30	0,15	1,15	0,15	2	1200	150	0,55	0,15	1,15	0,5	0,2	0
243	1	0	1	1	1	361	2	0,8	0,8	0,8	1	1000	1000	0,5	0,15	0,8	0,7	0,7	0,7
	0	0	1	1	1	361	2	0,01	0,01	0,01	1	1	1	1	0,01	0,01	0,15	0,15	0,15
312	1	1	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	10	2750	2750	0,7	0,15	0,95	0,9	0,9	0,9
313	1	0	1	1	1	361	2	0,8	0,8	0,8	1	1000	1000	0,5	0,15	0,8	0,55	0,55	0,55
	1	1	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	10	2750	2750	0,7	0,15	0,95	0,35	0,35	0,35
322	1	0	1	1	1	361	2	0,8	0,8	0,8	1	1000	1000	0,5	0,15	0,8	0,8	0,8	0,8
324	1	0	1	1	1	361	2	0,8	0,8	0,8	1	1000	1000	0,5	0,15	0,8	0,5	0,5	0,5
	1	1	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	10	2750	2750	0,7	0,15	0,95	0,4	0,4	0,4
331	1	0	1	10	10	10	10	0,15	0,15	0,15	1	1	1	1	0,15	0,15	0	0	0

Para a fração do solo descoberto será sempre **rp_1 (3) = 150** e **sld_ (3) = 0,42.**

Nota: No caso de N culturas = 2 (ver Quadro 6.6) são apresentadas duas linhas por ocupação do solo. i = 1 ou i = 2 (situação de i=2 só existe quando se consideram duas linhas).

Significado das colunas: Permeável= código para a infiltração superficial: (0) é nula, (1) calculada pelo modelo, Calcula_Kcb_esp=código para calcular (1) ou não (0) o coeficiente cultural basal esparso, Dia_ini=dia de início de desenvolvimento da cultura, L= comprimento (d): L_ini= da fase inicial, L_des= da fase de desenvolvimento, L_med= da meia estação, L_fim= da fase final, Kcb=coeficiente cultural basal: Kcb_ini=da fase inicial, Kcb_med=da meia estação, Kcb_fim= da fase final, h_cult=altura da cultura na fase de meia estação (m), rp_1=profundidade máxima das raízes das plantas (mm), rp_0=profundidade mínima das raízes das plantas (mm), sld=limite de depleção da água do solo a 100%, Kc_min=coeficiente cultural mínimo, Kcb_tot= coeficiente cultural basal total, fraccao=fração máxima de terreno ocupada pela cultura, fraccao_0=fração mínima de terreno ocupada pela cultura no período inicial.

6.2.5 Mapa de base para cálculo da recarga

A sobreposição dos mapas de solos (secção 6.2.3) e de ocupação do solo (secção 6.2.4) fornece a informação cartográfica de base necessária para a corrida do modelo BALSEQ_MOD, permitindo o cálculo da distribuição espacial dos diversos processos do balanço hídrico, incluindo a recarga.

Cada par {ocupação do solo, solo} constitui uma combinação única (por exemplo {313,Rg}, {331,Rg}). Ao todo existem, na bacia hidrográfica, 77 combinações únicas diferentes, já excluindo os solos classificados como áreas sociais. O modelo BALSEQ_MOD é corrido para cada uma destas combinações únicas.

Contudo, como referido, no mapa de solos cada polígono pode representar um solo ou uma associação de dois solos. Os mesmos dois solos que constituem uma associação podem, noutra associação, apresentar proporções diferentes. Definem-se assim combinações compostas do tipo {ocupação do solo, solo1, solo2, proporção1, proporção2} (por exemplo {312,Vt,,10,0} quando só há um solo, {312,Vt,Sbl,7,3} e {243,Ppr,Ppt,6,4} quando há dois solos). As proporções somam o máximo de 10.

Assim, após a corrida do BALSEQ_MOD para as combinações únicas, é necessário ponderar estes resultados para as combinações compostas, através das proporções dos solos presentes. Por exemplo, no caso da combinação composta {312,Vt,Sbl,7,3}, os valores finais deste polígono foram calculados fazendo:

Resultado da combinação composta {312,Vt,Sbl,7,3} =

[(*resultado da combinação única {312,Vt}*) *x 7* + (*resultado da combinação única {312,Sbl}*) *x 3*] */ 10*

O número de combinações compostas utilizado na área da bacia hidrográfica foi de 86 (não contando com as que contêm áreas sociais), ou seja, há 86 combinações diferentes derivadas da ocupação do solo e do solo presentes, cada uma delas fornecendo o seu valor de recarga. A Figura 6.7 dá uma imagem do número de polígonos gerados por esta sobreposição de três tipos de informação (ocupação do solo, associação de solos e proporção dos solos na associação).

Na área das Terras da Costa há 24 combinações compostas.

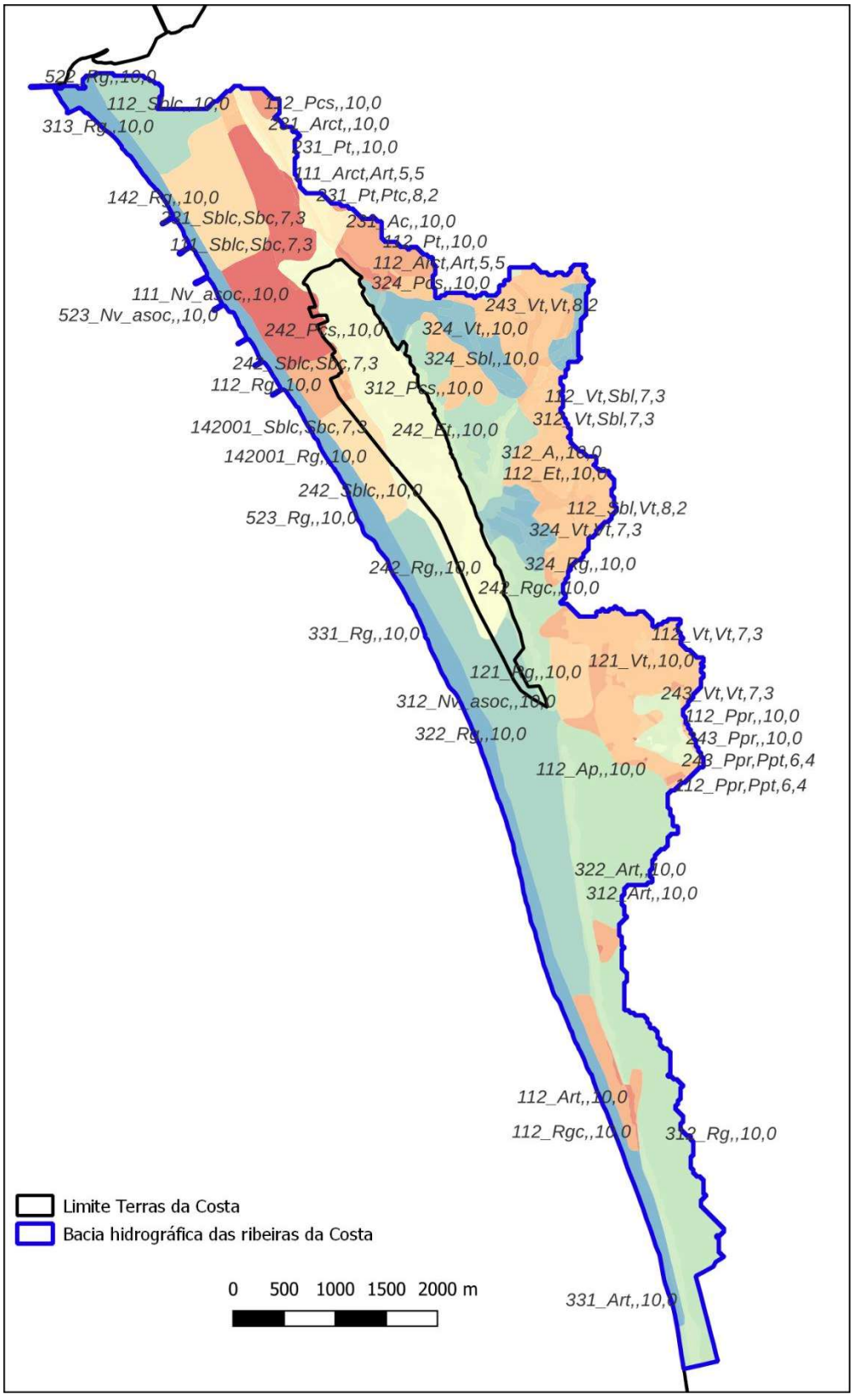


Figura 6.7 – Mapa de base para cálculo da recarga resultante da união dos mapas de ocupação do solo e de solos corrigido para a totalidade da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

6.3 Resultados do balanço hídrico sequencial diário

6.3.1 Bacia hidrográfica

6.3.1.1 Balanço hídrico anual

A Figura 6.8 apresenta a distribuição da recarga anual média do período outubro/1983 a setembro/2023, na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada.

Os resultados anuais médios por processo, modelado no balanço hídrico, são os apresentados no Quadro 6.9.

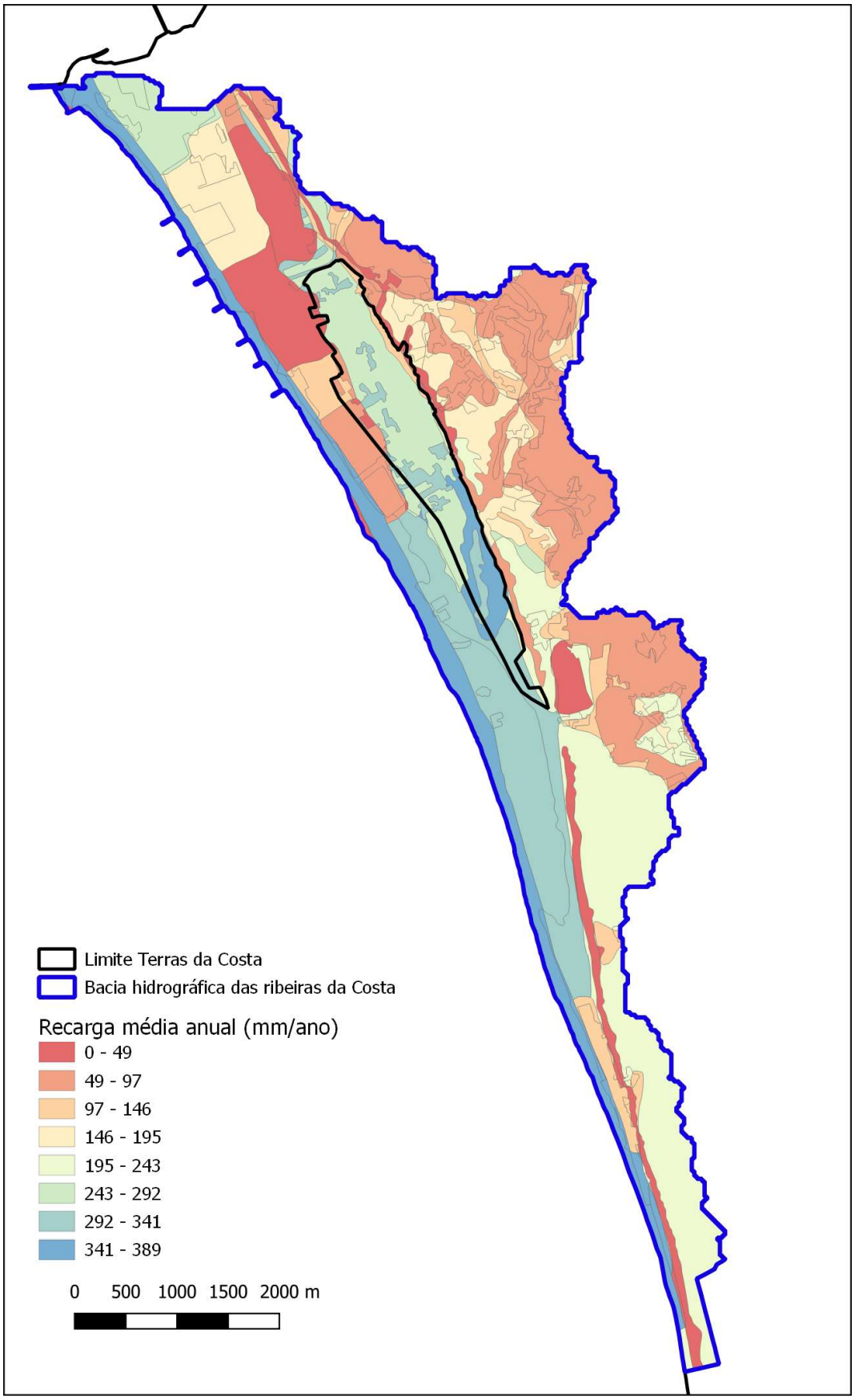


Figura 6.8 – Distribuição da recarga anual média (1983/10/01-2023/09/30) na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Quadro 6.8 – Valores anuais médios resultantes do balanço hídrico do período de 1983/10/01 a 2023/09/30 na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Bacia hidrográfica (área = 2 039,5 ha)	Quantidade	
	(mm/ano)	(x1000 m³/ano)
Precipitação anual média	644	13 144
Escoamento direto anual médio	142	2 895
Evapotranspiração potencial anual média	924	18 842
Evapotranspiração anual média	312	6 363
Recarga anual média	190	3 883

Para a totalidade da bacia hidrográfica modelada, os valores por ano hidrológico obtidos de precipitação, escoamento direto, evapotranspiração e recarga são os representados na Figura 6.9 e no Quadro 6.9. Este último apresenta também os valores da evapotranspiração potencial.

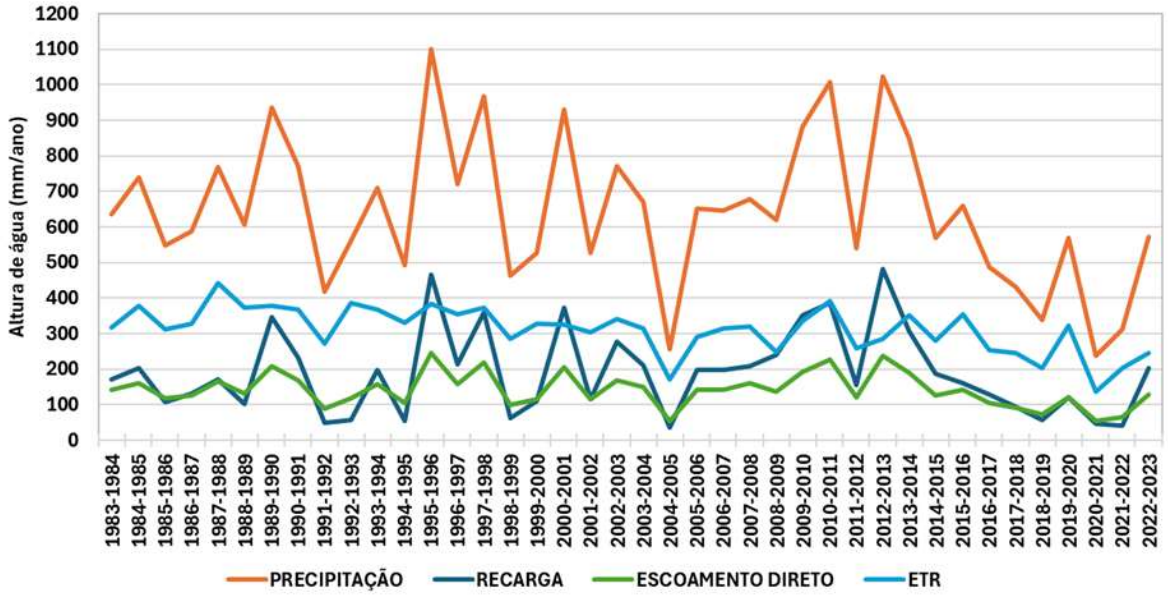


Figura 6.9 – Precipitação, escoamento direto, evapotranspiração (ETR) e recarga anual calculados para a totalidade da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Quadro 6.9 – Resultados anuais do balanço hídrico da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada (mm/ano)

Ano hidrológico	Precipitação	Escoamento direto	Evapotranspiração potencial	Evapotranspiração real	Recarga
1983-1984	635	143	1101	318	170
1984-1985	740	160	1104	378	203
1985-1986	549	118	1145	313	107
1986-1987	588	127	1155	329	132
1987-1988	768	165	1115	443	170
1988-1989	608	131	1119	374	101
1989-1990	935	208	1193	377	347
1990-1991	771	169	1139	367	232
1991-1992	418	89	1095	273	49
1992-1993	562	119	1014	387	57
1993-1994	711	158	1030	367	199
1994-1995	493	106	931	331	55
1995-1996	1101	245	921	384	466
1996-1997	721	158	924	355	214
1997-1998	969	219	921	372	359
1998-1999	462	100	915	286	62
1999-2000	527	116	918	328	110
2000-2001	930	206	879	325	373
2001-2002	528	114	865	304	117
2002-2003	770	168	848	342	276
2003-2004	670	150	839	315	211
2004-2005	257	54	834	171	35
2005-2006	652	143	795	290	197
2006-2007	645	141	873	315	197
2007-2008	679	160	844	319	207
2008-2009	619	136	819	248	240
2009-2010	883	194	882	336	352
2010-2011	1007	227	882	391	387
2011-2012	539	121	866	258	154
2012-2013	1022	238	824	285	482
2013-2014	847	189	676	353	308
2014-2015	570	126	856	280	188
2015-2016	659	141	864	354	161
2016-2017	486	105	888	255	129
2017-2018	432	92	825	245	95
2018-2019	338	73	811	203	58
2019-2020	568	122	793	322	122
2020-2021	238	54	788	137	47
2021-2022	313	66	789	203	40
2022-2023	572	130	873	245	203
Média	**644**	**142**	**924**	**312**	**190**

6.3.1.2 Balanço hídrico médio mensal

Os resultados do modelo, de incremento diário, podem ser observados com mais pormenor agregados por mês. Apresenta-se na Figura 6.10 os valores mensais médios dos quarenta anos modelados. Os mesmos valores médios são apresentados no Quadro 6.10, expressos em altura de água, e no Quadro 6.11, expressos em volumes. O Quadro 6.12 apresenta os valores mensais de recarga obtidos. Os meses de novembro e dezembro são, em média, aqueles que registam valores mais altos de recarga, seguindo-se o mês de janeiro.

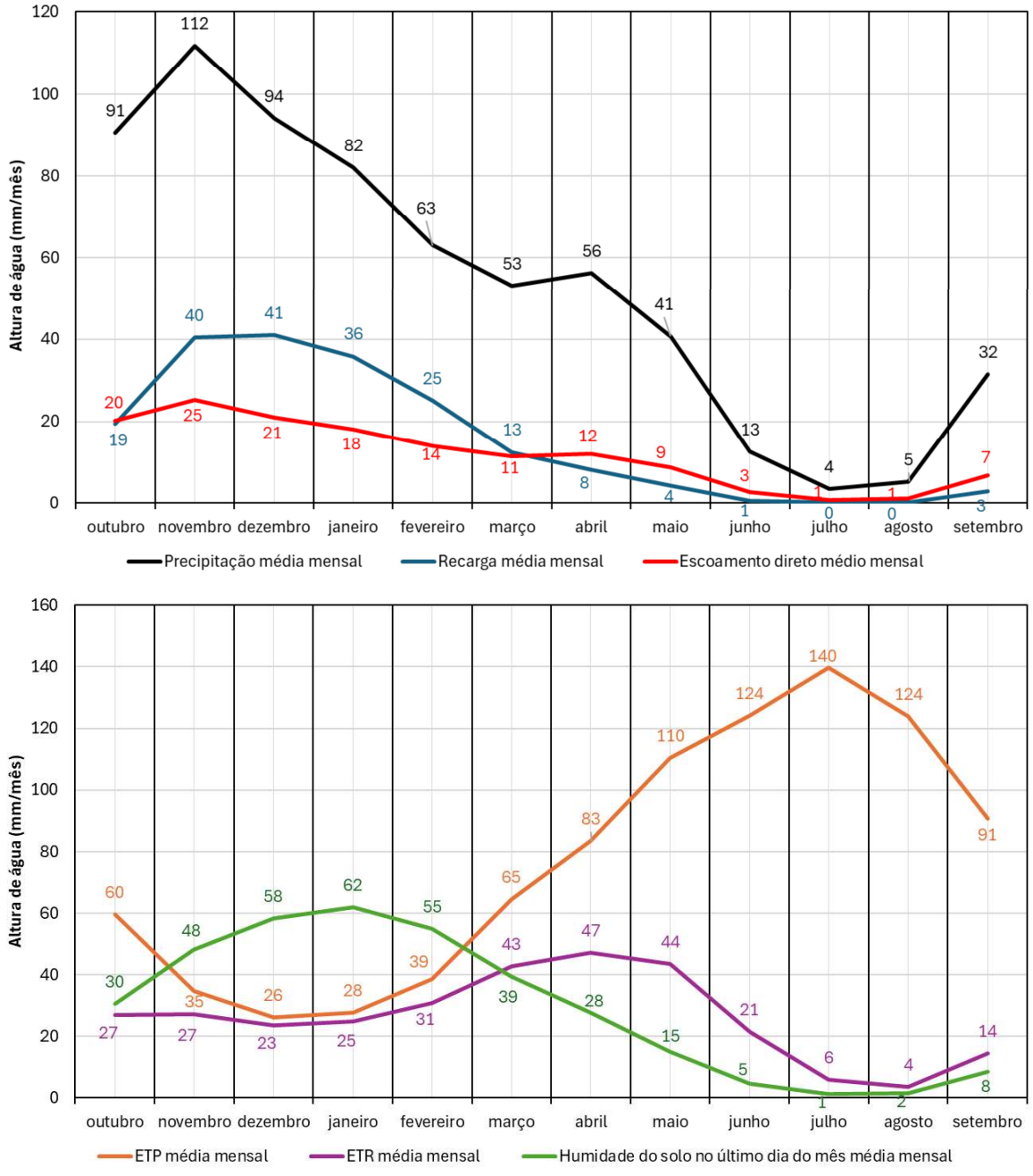


Figura 6.10 – Precipitação, escoamento direto, recarga, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), todos mensais médios (do período 1983/10/01-2023/09/30), e média da quantidade de água armazenada no solo disponível para evapotranspiração no último dia do mês, na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Quadro 6.10 – Valores mensais médios do balanço hídrico (mm/mês) na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Processo	outu-bro	novem-bro	dezem-bro	janeiro	feve-reiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setem-bro	Média mensal
Precipitação	91	112	94	82	63	53	56	41	13	4	5	32	54
Escoamento direto	20	25	21	18	14	11	12	9	3	1	1	7	12
ETP	60	35	26	28	39	65	83	110	124	140	124	91	77
ETR	27	27	23	25	31	43	47	44	21	6	4	14	26
Recarga	19	40	41	36	25	13	8	4	1	0	0	3	16
Humidade do solo no último dia do mês (mm)	30	48	58	62	55	39	28	15	5	1	2	8	29

Quadro 6.11 – Valores mensais médios do balanço hídrico (x1000 m^3/mês) na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Processo	outu-bro	novem-bro	dezem-bro	janeiro	feve-reiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setem-bro	Média mensal
Precipitação	1846	2282	1920	1674	1284	1081	1146	830	259	73	107	644	1095
Escoamento direto	411	515	426	369	286	234	247	178	54	15	22	138	241
ETP	1214	708	535	566	787	1318	1701	2250	2534	2848	2529	1851	1570
ETR	547	554	478	507	630	870	961	888	438	121	74	294	530
Recarga	396	825	838	731	509	255	164	88	10	4	3	59	324
Humidade do solo no último dia do mês (m^3)	622	984	1188	1263	1119	801	564	307	94	26	31	173	598

Quadro 6.12 – Recarga mensal da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada (mm/mês)

Ano hidrológico	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total anual
1983-1984	3,1	119,8	42,0	0,8	0,1	0,6	1,9	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	**170**
1984-1985	0,8	17,1	15,9	91,0	66,1	0,4	11,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	**203**
1985-1986	0,0	19,1	16,0	23,9	39,3	0,4	0,2	0,7	0,0	0,0	0,0	7,0	**107**
1986-1987	0,2	21,3	4,3	23,1	68,1	5,0	6,9	0,0	0,0	0,0	2,8	0,6	**132**
1987-1988	12,3	13,3	60,5	33,3	31,2	0,1	1,3	6,2	4,1	7,9	0,0	0,0	**170**
1988-1989	5,9	37,3	4,0	18,4	7,7	6,1	19,1	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	**101**
1989-1990	7,2	80,5	215,1	21,8	1,3	5,9	15,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	**347**
1990-1991	54,1	32,0	15,9	15,1	58,3	51,9	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**232**
1991-1992	12,8	0,5	5,0	17,1	0,9	0,2	6,6	2,2	0,0	0,0	0,0	3,3	**49**
1992-1993	6,3	0,1	14,9	4,6	9,9	3,5	4,2	8,8	0,0	0,0	0,0	5,2	**57**
1993-1994	42,9	61,1	0,1	21,3	44,7	0,1	0,4	28,1	0,0	0,0	0,0	0,0	**199**
1994-1995	1,2	16,9	2,7	8,1	7,5	0,4	8,4	9,3	0,0	0,0	0,0	0,5	**55**
1995-1996	4,2	62,0	126,5	198,5	42,7	10,4	0,1	19,9	0,1	0,0	0,0	2,0	**466**
1996-1997	0,4	8,5	108,9	73,7	1,2	6,5	0,9	11,8	1,6	0,0	0,0	0,0	**214**
1997-1998	44,7	181,6	72,1	16,7	29,9	1,6	3,7	1,2	3,0	0,0	0,0	5,0	**359**
1998-1999	0,0	0,0	4,1	20,1	0,0	12,3	0,1	5,2	0,0	0,0	0,6	19,8	**62**
1999-2000	68,2	3,9	15,7	2,7	5,1	0,0	14,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	**110**
2000-2001	0,0	33,3	145,1	99,3	34,1	45,8	0,1	1,7	1,4	0,0	0,0	12,4	**373**
2001-2002	52,9	0,0	4,6	24,5	0,2	20,4	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	**117**
2002-2003	11,9	77,4	54,8	62,7	32,6	14,4	19,9	0,1	0,0	0,0	2,5	0,2	**276**
2003-2004	40,7	46,0	39,3	68,7	9,9	1,4	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	**211**
2004-2005	19,7	3,7	8,3	0,0	0,0	1,3	2,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	**35**
2005-2006	25,4	83,9	10,2	11,0	26,2	29,9	2,5	0,1	2,0	0,0	0,0	5,6	**197**
2006-2007	49,0	67,7	33,2	7,6	31,9	0,2	0,1	4,8	1,1	0,0	0,0	1,2	**197**
2007-2008	0,0	22,9	11,3	34,9	87,0	8,0	41,7	1,1	0,0	0,0	0,0	0,4	**207**
2008-2009	3,1	6,7	35,0	126,2	64,7	0,1	1,9	0,1	1,8	0,0	0,0	0,0	**240**
2009-2010	8,3	27,7	77,8	74,0	72,0	72,6	14,2	2,9	2,2	0,0	0,0	0,0	**352**
2010-2011	71,7	84,7	104,2	30,6	61,6	3,1	15,0	8,9	0,1	0,0	0,0	6,6	**387**
2011-2012	24,6	109,9	5,8	0,7	0,1	3,2	3,7	4,8	0,0	0,0	0,0	1,6	**154**
2012-2013	29,4	118,0	85,8	86,9	19,5	103,7	30,1	0,1	0,1	0,0	0,0	8,5	**482**
2013-2014	74,7	0,3	18,9	98,4	75,4	1,7	23,1	2,2	1,2	0,0	0,0	11,8	**308**
2014-2015	17,1	122,0	8,5	30,5	0,4	2,3	6,3	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	**188**
2015-2016	19,5	8,0	2,5	37,3	36,9	2,4	16,3	38,2	0,0	0,0	0,0	0,3	**161**
2016-2017	7,3	33,9	37,1	13,1	27,7	9,3	0,1	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	**129**
2017-2018	2,0	2,2	4,8	0,0	2,1	62,8	20,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**95**
2018-2019	3,6	45,3	1,1	5,5	0,1	0,7	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,8	**58**
2019-2020	4,8	33,6	46,5	10,6	2,7	0,1	16,1	6,1	0,0	0,0	0,0	1,3	**122**
2020-2021	27,8	6,8	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	**47**
2021-2022	5,8	0,2	15,7	0,1	0,0	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	**40**
2022-2023	12,4	8,9	158,6	21,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,9	**203**
Média	**19,4**	**40,5**	**41,1**	**35,9**	**25,0**	**12,5**	**8,0**	**4,3**	**0,5**	**0,2**	**0,1**	**2,9**	**190**

6.3.2 Terras da Costa

6.3.2.1 Balanço hídrico anual

A Figura 6.11 apresenta a distribuição da recarga anual média do período 1983/10/01 a 2023/09/30, na área das Terras da Costa.

Os resultados anuais médios por processo modelado no balanço hídrico são os apresentados no Quadro 6.14.

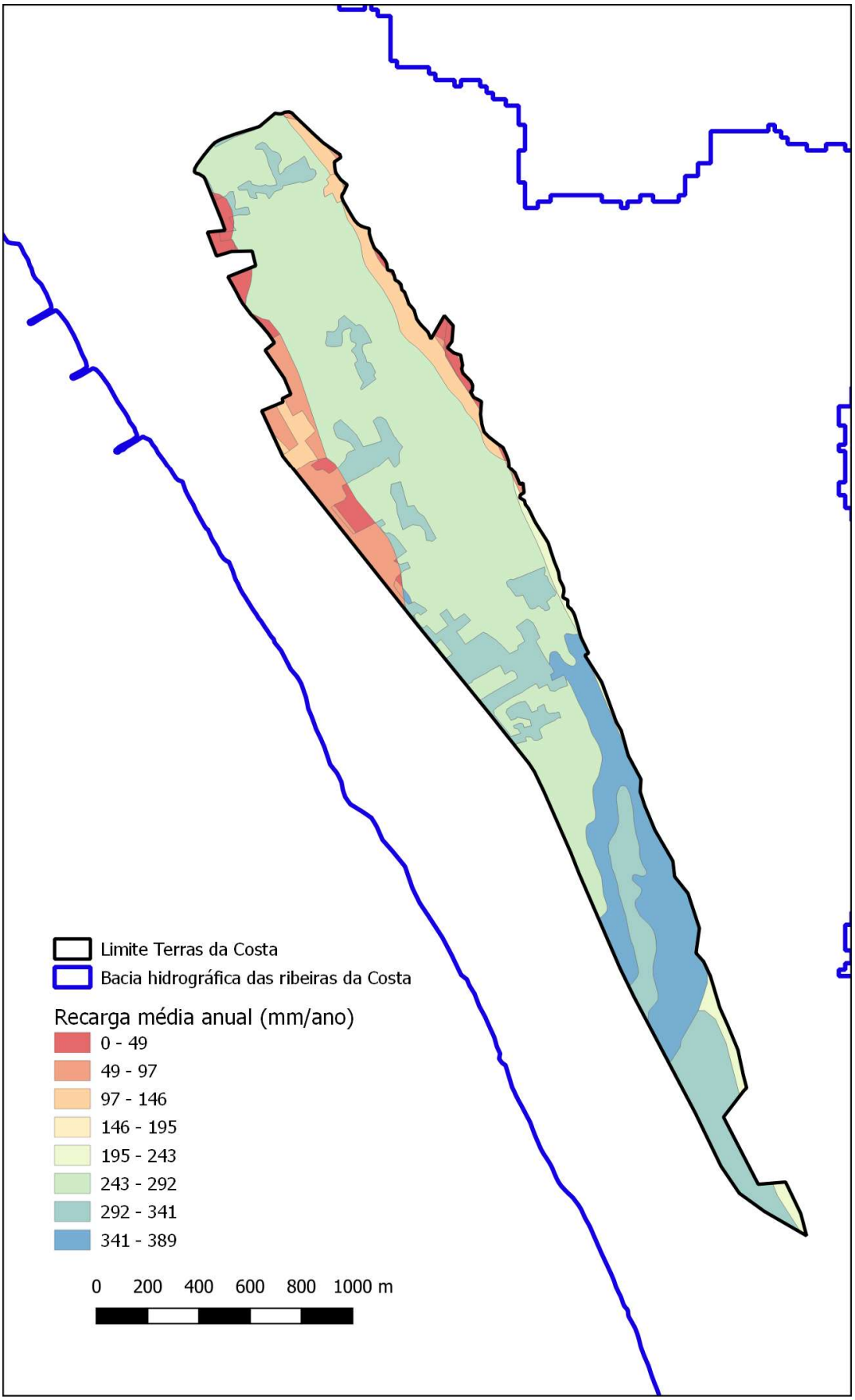


Figura 6.11 – Distribuição da recarga anual média (1983/10/01-2023/09/30) na área das Terras da Costa

Quadro 6.13 – Valores anuais médios resultantes do balanço hídrico do período de 1983/10/01 a 2023/09/30 na área das Terras da Costa

Terras da Costa (área = 211,6 ha)	Quantidade	
	(mm/ano)	(x1000 m³/ano)
Precipitação anual média	644	1 364
Escoamento direto anual médio	38	81
Evapotranspiração potencial anual média	1 093	2 314
Evapotranspiração anual média	344	728
Recarga anual média	262	555

Para a totalidade da área das Terras da Costa, os valores por ano hidrológico obtidos de precipitação, escoamento direto, evapotranspiração e recarga são os representados na Figura 6.12 e no Quadro 6.14. Este último apresenta também os valores da evapotranspiração potencial.

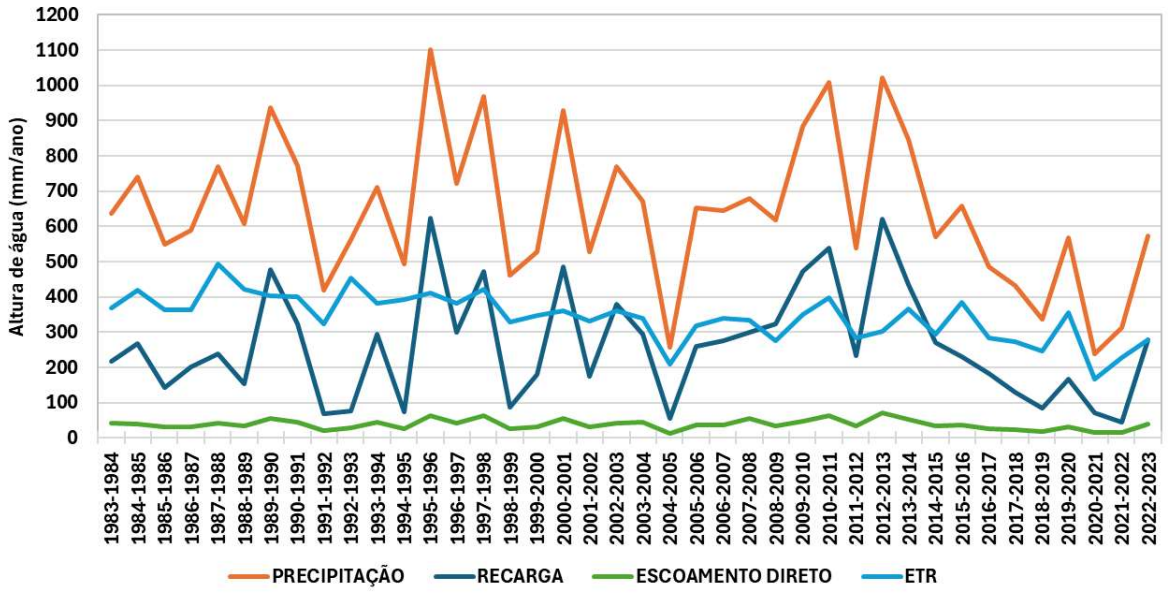


Figura 6.12 – Precipitação, escoamento direto, evapotranspiração (ETR) e recarga anual calculados para as Terras da Costa

Quadro 6.14 – Resultados anuais do balanço hídrico da área das Terras da Costa (mm/ano)

Ano hidrológico	Precipitação	Escoamento direto	Evapotranspiração potencial	Evapotranspiração real	Recarga
1983-1984	635	42	1284	367	216
1984-1985	740	40	1285	418	269
1985-1986	549	30	1333	362	141
1986-1987	588	32	1346	363	201
1987-1988	768	41	1296	493	239
1988-1989	608	33	1308	422	153
1989-1990	935	54	1387	404	477
1990-1991	771	44	1330	400	322
1991-1992	418	22	1277	324	69
1992-1993	562	29	1184	453	77
1993-1994	711	44	1202	382	295
1994-1995	493	27	1099	393	74
1995-1996	1101	62	1089	412	622
1996-1997	721	42	1092	381	300
1997-1998	969	63	1088	421	472
1998-1999	462	26	1081	330	87
1999-2000	527	32	1086	347	179
2000-2001	930	55	1050	359	486
2001-2002	528	30	1030	332	175
2002-2003	770	42	1021	361	379
2003-2004	670	44	1008	340	295
2004-2005	257	13	995	210	54
2005-2006	652	37	956	317	260
2006-2007	645	36	1039	339	276
2007-2008	679	56	1002	334	299
2008-2009	619	35	973	276	322
2009-2010	883	48	1053	350	473
2010-2011	1007	63	1054	397	538
2011-2012	539	34	1032	282	232
2012-2013	1022	72	988	303	620
2013-2014	847	53	808	367	434
2014-2015	570	35	1026	295	270
2015-2016	659	35	1037	383	231
2016-2017	486	26	1058	284	181
2017-2018	432	23	980	274	130
2018-2019	338	19	973	247	83
2019-2020	568	31	960	355	167
2020-2021	238	16	947	168	71
2021-2022	313	16	941	229	44
2022-2023	572	39	1042	278	279
Média	**644**	**38**	**1093**	**344**	**262**

6.3.2.2 Balanço hídrico médio mensal

Os resultados do modelo, de incremento diário, podem ser observados com mais pormenor, agregados por mês. Apresenta-se na Figura 6.13 os valores mensais médios dos quarenta anos modelados. Os mesmos valores médios são apresentados no Quadro 6.15, expressos em altura de água, e no Quadro 6.16, expressos em volumes. O Quadro 6.17 apresenta os valores mensais de recarga obtidos. Os meses de novembro e dezembro são, em média, aqueles que registam valores mais altos de recarga, seguindo-se o mês de janeiro.

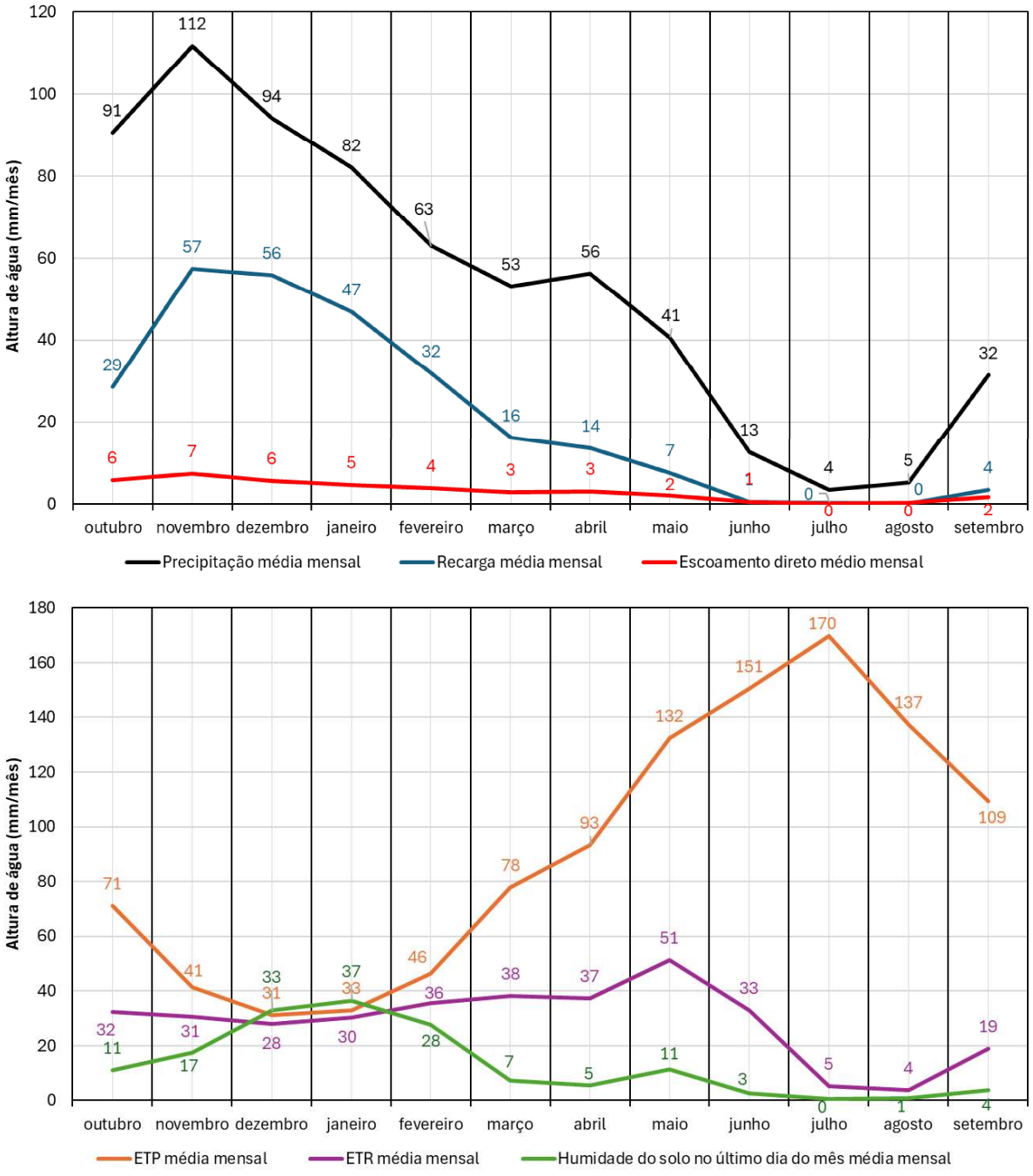


Figura 6.13 – Precipitação, escoamento direto, recarga, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), todos mensais médios (do período 1983/10/01-2023/09/30), e média da quantidade de água armazenada no solo disponível para evapotranspiração no último dia do mês, na área das Terras da Costa

Quadro 6.15 – Valores mensais médios do balanço hídrico (mm/mês) na área das Terras da Costa

Processo	outu-bro	novem-bro	dezem-bro	janeiro	feve-reiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setem-bro	Média mensal
Precipitação	91	112	94	82	63	53	56	41	13	4	5	32	54
Escoamento direto	6	7	6	5	4	3	3	2	1	0	0	2	3
ETP	71	41	31	33	46	78	93	132	151	170	137	109	91
ETR	32	31	28	30	36	38	37	51	33	5	4	19	29
Recarga	29	57	56	47	32	16	14	7	1	0	0	4	22
Humidade do solo no último dia do mês (mm)	11	17	33	37	28	7	5	11	3	0	1	4	13

Quadro 6.16 – Valores mensais médios do balanço hídrico (x1000 m^3/mês) na área das Terras da Costa

Processo	outu-bro	novem-bro	dezem-bro	janeiro	feve-reiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setem-bro	Média mensal
Precipitação	192	237	199	174	133	112	119	86	27	8	11	67	114
Escoamento direto	12	15	12	10	8	6	6	5	1	0	1	4	7
ETP	151	87	66	70	98	165	198	280	319	359	291	232	193
ETR	68	65	59	64	75	81	79	109	69	11	8	40	61
Recarga	61	121	118	99	67	34	29	16	1	1	0	8	46
Humidade do solo no último dia do mês (m^3)	23	37	69	77	59	16	11	24	6	1	2	8	28

Quadro 6.17 – Recarga mensal da área das Terras da Costa (mm/mês)

Ano hidrológico	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	Total anual
1983-1984	0,4	153,6	56,9	1,4	0,0	0,2	2,4	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	**216**
1984-1985	0,1	12,1	22,5	124,1	87,6	0,5	20,7	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**269**
1985-1986	0,0	25,4	24,3	36,9	51,0	0,4	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	2,9	**141**
1986-1987	0,1	35,9	7,7	36,9	95,8	7,1	13,5	0,0	0,0	0,0	3,4	0,3	**201**
1987-1988	16,6	18,4	89,4	42,6	39,9	0,0	2,2	9,4	5,6	14,5	0,0	0,0	**239**
1988-1989	8,6	60,0	5,7	20,3	9,0	8,9	35,1	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	**153**
1989-1990	10,1	121,3	275,9	28,5	1,5	9,0	30,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	**477**
1990-1991	80,0	45,3	21,9	19,1	77,1	67,4	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**322**
1991-1992	18,9	0,4	7,1	27,1	0,8	0,2	10,5	1,7	0,0	0,0	0,0	1,8	**69**
1992-1993	8,3	0,0	17,8	6,2	12,8	5,0	7,4	12,9	0,0	0,0	0,0	6,5	**77**
1993-1994	71,2	83,6	0,0	33,7	55,9	0,0	0,7	49,6	0,0	0,0	0,0	0,0	**295**
1994-1995	1,0	24,7	2,7	6,8	10,4	0,2	12,9	15,2	0,0	0,0	0,0	0,3	**74**
1995-1996	5,7	93,9	168,1	247,5	52,2	9,3	0,0	43,1	0,0	0,0	0,0	2,3	**622**
1996-1997	0,2	13,2	157,8	94,2	1,2	9,7	1,0	18,5	4,1	0,2	0,0	0,0	**300**
1997-1998	69,1	238,8	90,5	21,0	36,7	1,6	7,0	0,8	2,4	0,0	0,0	4,1	**472**
1998-1999	0,0	0,0	1,5	28,5	0,0	17,2	0,2	11,7	0,0	0,0	0,3	28,0	**87**
1999-2000	112,1	7,7	25,9	3,1	5,4	0,0	25,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	**179**
2000-2001	0,0	45,9	193,4	124,9	41,8	57,0	0,0	3,0	2,0	0,0	0,0	18,1	**486**
2001-2002	78,9	0,0	8,4	38,1	0,4	24,9	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0	15,9	**175**
2002-2003	15,9	113,9	72,8	78,8	40,3	17,7	35,8	0,0	0,0	0,0	3,2	0,3	**379**
2003-2004	69,5	64,1	54,0	86,7	12,2	1,2	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	**295**
2004-2005	28,3	5,3	16,2	0,0	0,0	1,6	2,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	**54**
2005-2006	23,6	122,5	13,7	12,2	32,3	38,4	5,1	0,0	4,0	0,0	0,0	8,2	**260**
2006-2007	78,1	95,0	44,0	9,2	40,4	0,5	0,1	7,1	0,9	0,0	0,0	0,8	**276**
2007-2008	0,0	32,0	18,8	51,7	113,2	10,8	68,9	3,3	0,0	0,0	0,0	0,2	**299**
2008-2009	3,5	8,8	56,3	169,3	81,4	0,0	2,7	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	**322**
2009-2010	5,1	42,4	109,5	96,7	89,2	90,0	31,7	5,1	3,2	0,0	0,0	0,0	**473**
2010-2011	113,6	116,5	131,3	37,5	75,4	4,5	33,1	16,6	0,0	0,0	0,0	9,9	**538**
2011-2012	42,2	161,8	7,0	0,7	0,0	4,0	6,0	9,3	0,0	0,0	0,0	0,8	**232**
2012-2013	40,4	162,2	106,6	108,2	23,0	127,8	38,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	**620**
2013-2014	116,0	0,2	31,5	134,2	94,0	2,1	33,7	3,6	1,7	0,0	0,0	17,4	**434**
2014-2015	27,4	181,1	10,6	37,8	0,6	2,7	9,4	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	**270**
2015-2016	21,8	10,9	4,1	54,2	48,3	3,3	22,3	66,4	0,0	0,0	0,0	0,2	**231**
2016-2017	11,0	53,9	50,0	14,5	37,9	13,6	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	**181**
2017-2018	0,9	1,1	4,8	0,0	0,8	88,3	34,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**130**
2018-2019	4,4	70,9	1,4	5,1	0,0	0,7	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,1	**83**
2019-2020	1,3	47,7	63,1	11,2	3,6	0,0	26,2	12,4	0,0	0,0	0,0	1,3	**167**
2020-2021	42,1	12,2	16,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	**71**
2021-2022	1,3	0,1	17,1	0,2	0,0	16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	**44**
2022-2023	17,6	13,7	220,5	27,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	**279**
Média	**28,6**	**57,4**	**55,7**	**46,9**	**31,8**	**16,1**	**13,6**	**7,5**	**0,6**	**0,4**	**0,2**	**3,6**	**262**

7 | Caracterização dos volumes de água extraídos

Esta caracterização poderia ser efetuada recorrendo a três procedimentos diferentes, isoladamente ou em complementaridade, nomeadamente:

- informação bibliográfica, usando estudos desenvolvidos na área,
- inquéritos aos proprietários dos poços e furos,
- estimativa das extrações com base nas necessidades de água.

Como referido no relatório da Fase 1, pretendeu-se caracterizar os volumes de água extraídos a partir de inquéritos aos proprietários/utilizadores dos poços/furos, tarefa que se revelou globalmente muito difícil dado que as respostas obtidas foram evasivas e pouco objetivas (*e.g.*, "depende dos dias", "volumes desconhecidos" e "horas / dias de rega muito variáveis").

Assim, não se tendo também obtido informação proveniente de estudos realizados na área, utilizou-se a terceira abordagem, de estimativa das extrações com base nas necessidades de água.

Estas foram calculadas utilizando os resultados do modelo BALSEQ_MOD (ver capítulo 6 |), considerando a ocupação do solo onde se pratica atividade agrícola, e **estimando as necessidades de água pela diferença entre a evapotranspiração potencial diária**, calculada com base no coeficiente cultural basal das culturas consideradas, **e a evapotranspiração real diária**, calculada por balanço hídrico sequencial a partir da humidade armazenada no solo.

De acordo com a carta *Corine* de ocupação do solo das áreas em estudo (bacia hidrográfica das ribeiras da Costa e área agrícola das Terras da Costa), apenas a ocupação com o código 242, correspondente a "Sistemas culturais e parcelares complexos", requer irrigação, tendo-se considerado a presença de duas culturas cobrindo cada uma delas 50 % do espaço: couve, a representar uma cultura de inverno, e milho, a representar uma cultura de verão. Os parâmetros típicos destas culturas são apresentados no Quadro 6.7, e reproduzem-se no Quadro 7.1.

As áreas desta ocupação do solo foram apresentadas no Quadro 6.5: 2,126 km^2 para a bacia hidrográfica das ribeiras da Costa e 1,793 km^2 para a área agrícola das Terras da Costa.

Quadro 7.1 – Parâmetros caracterizadores da classe de ocupação do solo "Sistemas culturais e parcelares complexos" (código CLC 2018 = 242)

CLC 2018	Permeável (i)	Calcula Kcb_esp (i)	Dia_ini (i)	L_ini (i)	L_des (i)	L_med (i)	L_fim (i)	Kcb_ini (i)	Kcb_med (i)	Kcb_fim (i)	h_cult (i)	rp_1 (i)	rp_0 (i)	sld_ (i)	Kc_min (i)	Kcb_tot (i)	fraccao (i)	fraccao_0 (i)	fraccao_nada (i)
242	1	1	1	40	60	50	15	0,15	0,95	0,85	1	800	150	0,45	0,15	1	0,5	0,1	0
	1	1	183	30	40	50	30	0,15	1,15	0,15	2	1200	150	0,55	0,15	1,15	0,5	0,2	0

Para a fração do solo descoberto será sempre **rp_1 (3) = 150** e **sld_ (3) = 0,42.**
Nota: Cada linha corresponde aos parâmetros de cada cultura, na de cima a couve, e na de baixo o milho.
Significado das colunas: CLC2018= código da carta *Corine* de ocupação do solo, Permeável= código para a infiltração superficial: (0) é nula, (1) calculada pelo modelo, Calcula_Kcb_esp=código para calcular (1) ou não (0) o coeficiente cultural basal esparso, Dia_ini=dia de início de desenvolvimento da cultura, L= comprimento (d): L_ini= da fase inicial, L_des= da fase de desenvolvimento, L_med= da meia estação, L_fim= da fase final, Kcb=coeficiente cultural basal: Kcb_ini=da fase inicial, Kcb_med=da meia estação, Kcb_fim= da fase final, h_cult=altura da cultura na fase de meia estação (m), rp_1=profundidade máxima das raízes das plantas (mm), rp_0=profundidade mínima das raízes das plantas (mm), sld=limite de depleção da água do solo a 100%, Kc_min=coeficiente cultural mínimo, Kcb_tot= coeficiente cultural basal total, fraccao=fração máxima de terreno ocupada pela cultura, fraccao_0=fração mínima de terreno ocupada pela cultura no período inicial.

As necessidades de água calculadas para satisfazer a evapotranspiração potencial das culturas são as representadas na Figura 7.1, considerando a área de ocorrência da ocupação do solo com o código CLC=242. Dos 40 anos analisados, o valor mínimo é de 183 mm/ano (a.h. 2013/14), o valor máximo é de 440 mm/ano (a.h. 1989/90) e o valor médio é de 330 mm/ano. Estes valores podem ser transformados em caudais (m^3/ano) por hectare, multiplicando por 10. Assim, a dotação média para este combinado 50% couve + 50 % milho é de 3297 m^3/ano/ha.

Multiplicando estes valores pela área de ocorrência do tipo de ocupação do solo com o código CLC=242, obtém-se os valores médios de 591169 m^3/ano no caso de se considerar apenas a área agrícola das Terras da Costa, e de 701535 m^3/ano no caso de se considerar a área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa, com a distribuição temporal apresentada na Figura 7.2. No caso de se considerar que se fornece às plantas toda a água para satisfazer as suas necessidades e um sistema onde não há perdas, estes valores são estimativos das extrações de águas subterrâneas através das captações. Caso haja perdas ou não seja fornecida toda a água necessária para completar a evapotranspiração potencial, será necessário fazer correções proporcionais a estes valores.

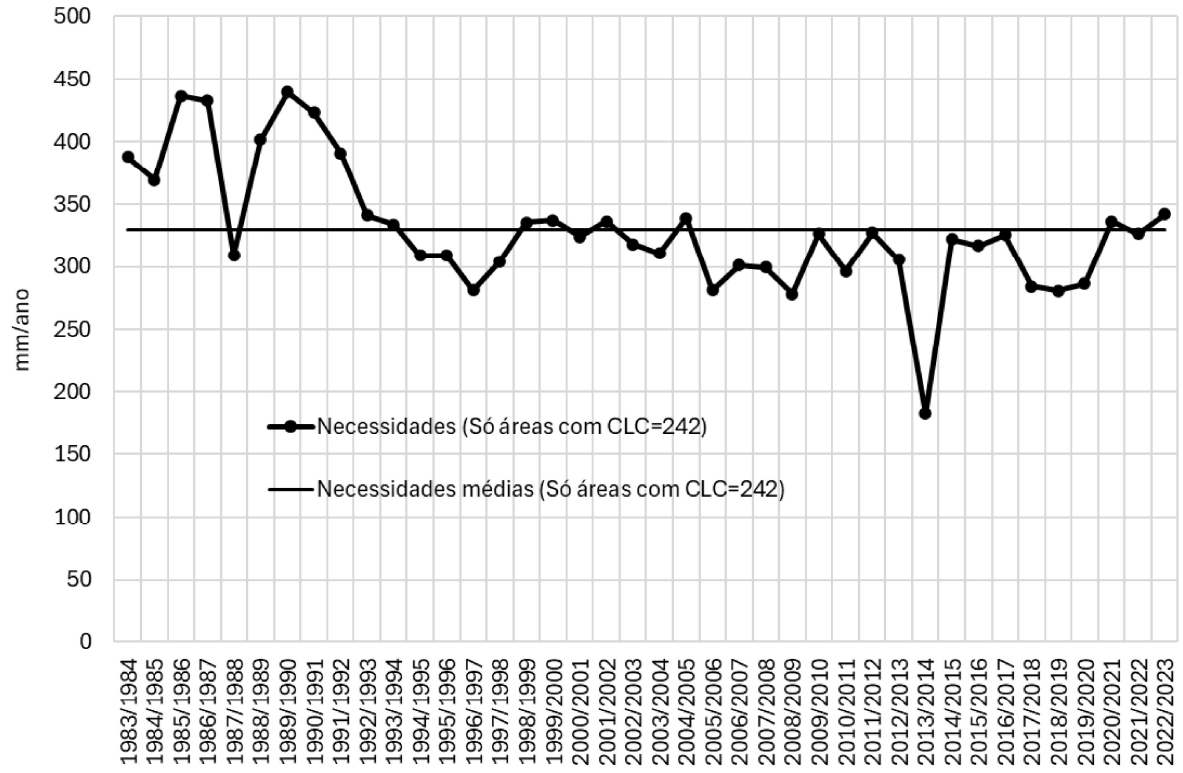


Figura 7.1 – Necessidades de água, expressas em altura de água, para a ocupação do solo caracterizada pela presença de couve e milho, cada uma delas cobrindo 50 % do espaço

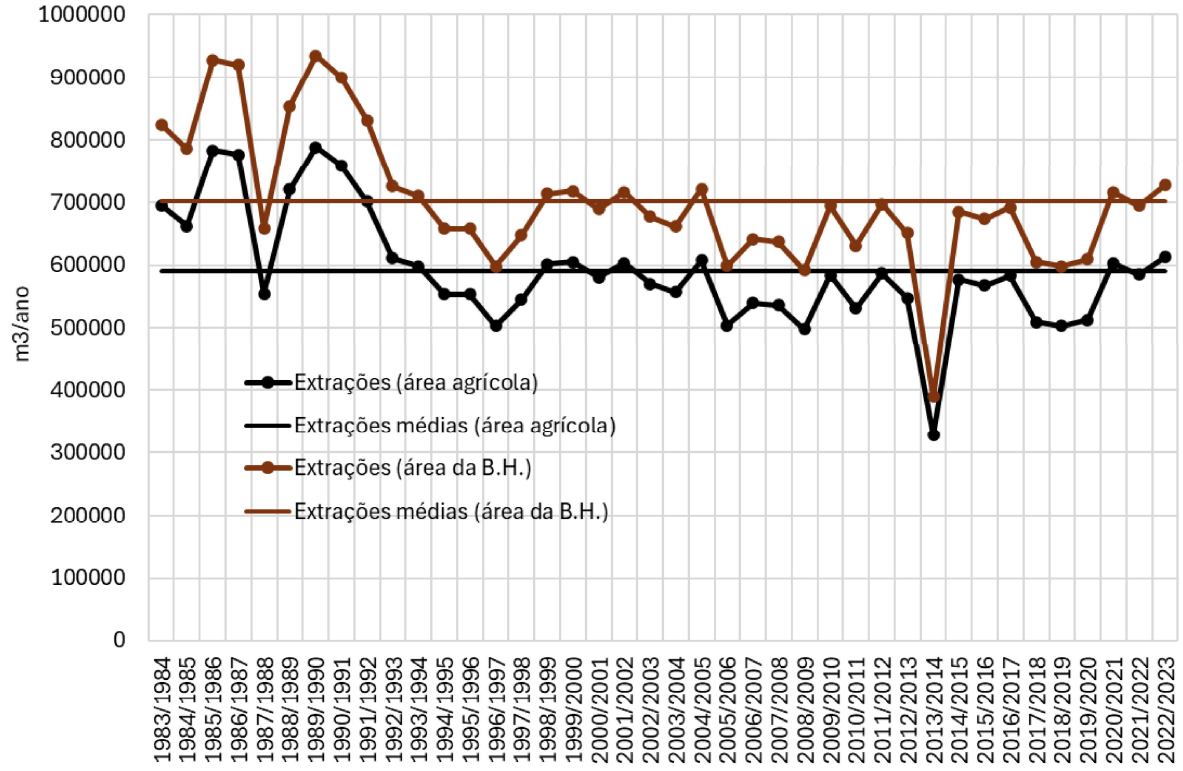


Figura 7.2 – Extrações totais de águas subterrâneas estimadas para colmatar as necessidades de água da ocupação do solo caracterizada pela presença de couve e milho, cada uma delas cobrindo 50 % do espaço

A distribuição mensal das necessidades médias de água da área agrícola das Terras da Costa, considerando apenas a área de ocorrência de CLC=242, expressa em altura de água varia entre 0 mm/mês, em setembro, e 136 mm/mês, em julho. Ao longo dos 40 anos estudados, os valores de julho oscilaram entre 80 e 178 mm/mês. Ocorreram situações em que, nos meses de outubro a março não se registaram necessidades de água. A Figura 7.3 mostra a variação mensal das necessidades de água, representando os valores médios e os mínimos e máximos. O Quadro 7.2 apresenta os valores mensais de necessidades calculados.

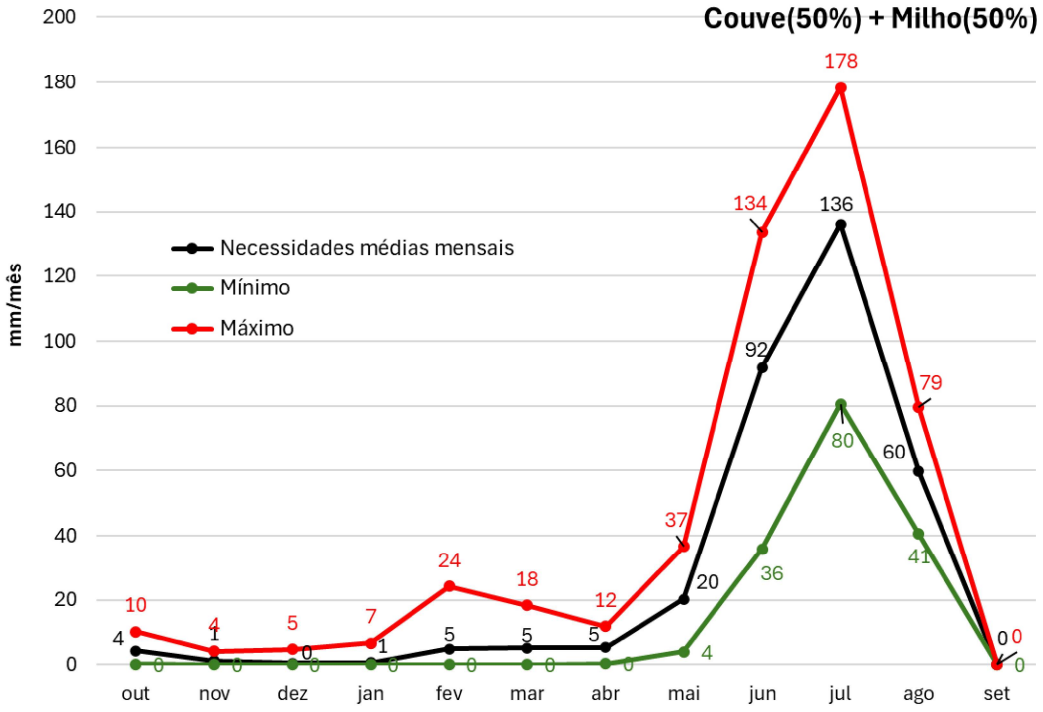


Figura 7.3 – Necessidades de água mensais da área agrícola das Terras da Costa, expressas em altura de água, para a ocupação do solo caracterizada pela presença de couve e milho, cada uma delas cobrindo 50 % do espaço

Quadro 7.2 – Valores mensais e anuais (mm) das necessidades de água na área agrícola das Terras da Costa para a ocupação do solo caracterizada pela presença de couve e milho, cada uma delas cobrindo 50 % do espaço, para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
1983/84	8,8	0,0	0,8	1,3	19,4	18,4	7,4	11,0	92,2	159,1	69,4	0,0	387,7
1984/85	5,3	0,6	0,0	0,1	0,0	3,6	3,9	15,0	103,3	158,1	79,5	0,0	369,2
1985/86	10,3	1,1	0,0	0,3	0,0	0,3	6,2	36,7	130,7	178,3	72,7	0,0	436,7
1986/87	7,3	2,9	1,2	0,2	0,0	2,5	5,3	36,7	133,7	166,9	76,0	0,0	432,8
1987/88	2,0	1,4	0,0	0,0	0,0	3,4	4,8	22,1	70,3	132,9	72,5	0,0	309,5
1988/89	5,3	0,6	1,2	0,1	1,9	6,4	2,1	20,9	125,7	171,9	65,4	0,0	401,5
1989/90	4,5	2,0	0,0	0,2	10,1	6,5	5,2	36,7	119,7	176,8	78,0	0,0	439,6
1990/91	3,3	1,3	0,0	0,1	0,0	0,0	8,7	35,2	132,3	166,7	75,6	0,0	423,3
1991/92	4,7	3,2	0,0	0,4	10,6	15,9	8,7	31,9	83,2	163,9	68,3	0,0	390,8
1992/93	3,4	3,1	0,2	2,8	2,0	5,9	4,3	4,1	94,5	155,6	64,9	0,0	340,8
1993/94	2,5	1,5	2,1	0,4	0,2	1,8	8,1	5,9	101,4	145,4	64,2	0,0	333,5
1994/95	2,7	1,4	0,2	0,0	0,1	3,0	6,4	10,4	91,5	134,3	59,1	0,0	309,0
1995/96	6,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2	6,2	6,6	102,1	134,2	52,6	0,0	309,1
1996/97	5,9	1,9	0,1	0,0	6,8	11,8	5,8	7,1	63,0	122,5	56,2	0,0	281,1
1997/98	3,6	0,0	0,0	0,0	2,5	11,8	0,6	14,7	78,3	132,7	60,1	0,0	304,3
1998/99	5,8	4,2	4,8	0,0	6,8	8,1	8,5	14,5	100,0	133,8	49,0	0,0	335,4
1999/00	4,1	3,0	0,0	0,0	7,5	14,2	0,3	19,5	104,2	128,4	56,0	0,0	337,3
2000/01	5,4	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	8,6	15,2	102,2	132,2	59,4	0,0	323,9
2001/02	0,1	3,9	0,7	0,0	5,1	1,3	7,4	22,6	94,7	138,7	61,9	0,0	336,3
2002/03	0,6	0,3	0,0	0,0	1,6	0,2	2,0	32,4	96,2	126,6	58,3	0,0	318,2
2003/04	1,5	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	4,9	22,4	105,0	135,9	40,6	0,0	310,7
2004/05	3,7	1,8	0,2	6,6	22,9	16,2	5,7	23,6	89,5	112,8	55,8	0,0	338,8
2005/06	3,2	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	3,2	27,3	66,0	122,2	58,8	0,0	281,3
2006/07	1,8	1,2	0,1	0,3	0,0	0,4	6,6	16,9	73,9	139,5	60,7	0,0	301,3
2007/08	5,4	3,6	0,8	0,0	1,6	1,2	3,6	5,3	98,0	126,3	53,7	0,0	299,6
2008/09	4,5	2,6	0,0	0,0	0,5	4,6	4,1	22,2	76,1	113,8	49,7	0,0	278,2
2009/10	4,8	0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	6,0	23,4	88,3	148,5	54,1	0,0	326,1
2010/11	3,2	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	7,9	15,7	83,0	132,6	52,7	0,0	296,4
2011/12	6,8	0,0	0,0	0,8	24,3	15,4	2,1	18,1	80,6	126,5	52,9	0,0	327,3
2012/13	3,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,6	19,7	88,4	128,3	60,1	0,0	305,7
2013/14	2,8	1,9	0,6	0,0	0,0	0,4	2,3	9,3	35,9	80,5	49,2	0,0	182,9
2014/15	3,8	0,4	0,0	0,3	1,1	9,5	5,0	32,9	83,3	130,1	55,5	0,0	321,9
2015/16	1,3	0,7	0,7	0,0	0,0	0,4	1,5	11,4	99,2	141,5	60,0	0,0	316,6
2016/17	3,6	0,3	0,0	0,4	0,3	0,9	11,8	18,6	97,9	128,7	62,7	0,0	325,2
2017/18	6,2	2,2	0,1	5,0	21,8	0,1	1,1	19,9	64,4	101,8	61,9	0,0	284,5
2018/19	6,0	0,0	0,0	0,0	6,3	7,7	7,8	27,3	75,1	102,7	48,1	0,0	281,0
2019/20	3,8	0,0	0,0	0,0	1,6	6,7	0,6	14,4	83,5	128,3	47,5	0,0	286,3
2020/21	4,3	0,5	0,0	1,7	11,2	12,5	9,3	29,0	88,1	123,2	56,5	0,0	336,3
2021/22	5,5	2,0	1,8	1,2	16,4	6,6	5,0	28,2	85,3	124,3	50,0	0,0	326,4
2022/23	3,3	0,0	0,0	0,0	9,6	6,8	11,0	26,1	87,6	136,2	61,2	0,0	341,8
Média	**4,3**	**1,3**	**0,4**	**0,6**	**4,8**	**5,1**	**5,4**	**20,3**	**91,7**	**136,1**	**59,8**	**0,0**	**329,7**

Resumindo, estimam-se as extrações de água subterrânea médias na área agrícola das Terras da Costa definida no Relatório da Fase 1 (área de 2,12 km^2) em 591169 m^3/ano, com um valor mínimo de 327885 m^3/ano, ocorrido em 2013/2014, e um valor máximo de 788224 m^3/ano, ocorrido em 1989/1990. No caso da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa (área de 20,34 km^2), as extrações médias são estimadas em 701535 m^3/ano, com um valor mínimo de 389322 m^3/ano, e um valor máximo de 935232 m^3/ano.

8 | Análise do balanço hídrico anual entre a recarga natural das águas subterrâneas e os volumes extraídos

Na secção 6.3 fez-se a estimativa da recarga de águas subterrâneas, tendo-se obtido os seguintes valores:

- Área agrícola das Terras da Costa (área de 2,12 km^2): 555 dam^3/ano.
- Área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa (área de 20,34 km^2): 3883 dam^3/ano.

Estes valores podem ser confrontados com as necessidades (assumidas equivalentes às extrações) anuais médias calculadas na secção anterior:

- Área agrícola das Terras da Costa definida no Relatório da Fase 1: 591 dam^3/ano.
- Área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa: 702 dam^3/ano.

Como se pode verificar, se apenas a recarga que ocorre na área agrícola das Terras da Costa estivesse disponível para extração, ela não seria suficiente para fornecer a água necessária para compensar as necessidades de água e o balanço recarga – extrações seria negativo (= -36 dam^3/ano). Contudo, o sistema aquífero estende-se muito para além da área agrícola, e, se considerarmos toda a área da bacia hidrográfica envolvente da zona das Terras da Costa, mesmo considerando as extrações estimadas para essa área, o balanço recarga – extrações é positivo (= +3181 dam^3/ano).

Para este tipo de balanços, o que importa é os valores médios, a longo prazo, pois anos de maiores recargas ou menores extrações podem compensar outros de menores recargas ou maiores extrações. Independentemente deste facto, apresenta-se na Figura 8.1 a distribuição das necessidades e das recargas calculadas ao longo dos anos.

De acordo com o art.º 7 da Portaria n.º 1115/2009, de 29 de setembro, "3 — O bom estado quantitativo de uma massa de água subterrânea considera-se atingido quando a taxa média anual de captações a longo prazo existentes na massa de água subterrânea for inferior a 90 % da recarga média anual a longo prazo da mesma massa de água.", e "4 — O critério definido no n.º 3 deve ser anualmente revisto, e pode ser alterado para massas de água subterrâneas específicas, em função das características hidrogeológicas dessas massas de água, em qualquer caso por proposta do Instituto da Água (designado abreviadamente INAG) e iniciativa do mesmo ou das administrações de regiões hidrográficas (designada abreviadamente ARH) e mediante portaria."

Não existindo portaria que atualize o valor de 90 %, a última geração dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (cf. https://apambiente.pt/sites/default/files/_Agua/DRH/ParticipacaoPublica/PGRH/2022-2027/3_Fase/PGRH_3_SistemasClassificacao.pdf, p. 107), refere: "Considera-se que uma massa de água subterrânea atinge o bom estado quantitativo quando a taxa média anual de captações a longo prazo for inferior a 80% da recarga média anual a longo prazo. O limiar dos 80% da recarga corresponde aos recursos hídricos subterrâneos disponíveis.", justificando: "Importa referir que neste 3.º ciclo de planeamento, face à diminuição da precipitação nos últimos 20 anos, considerou-se oportuno diminuir

o limiar dos recursos subterrâneos disponíveis de 90% para 80% da recarga média anual a longo prazo, com o intuito de proteger e preservar as águas subterrâneas, face à diminuição das disponibilidades hídricas subterrâneas e aumento das extrações sobre as massas de água."

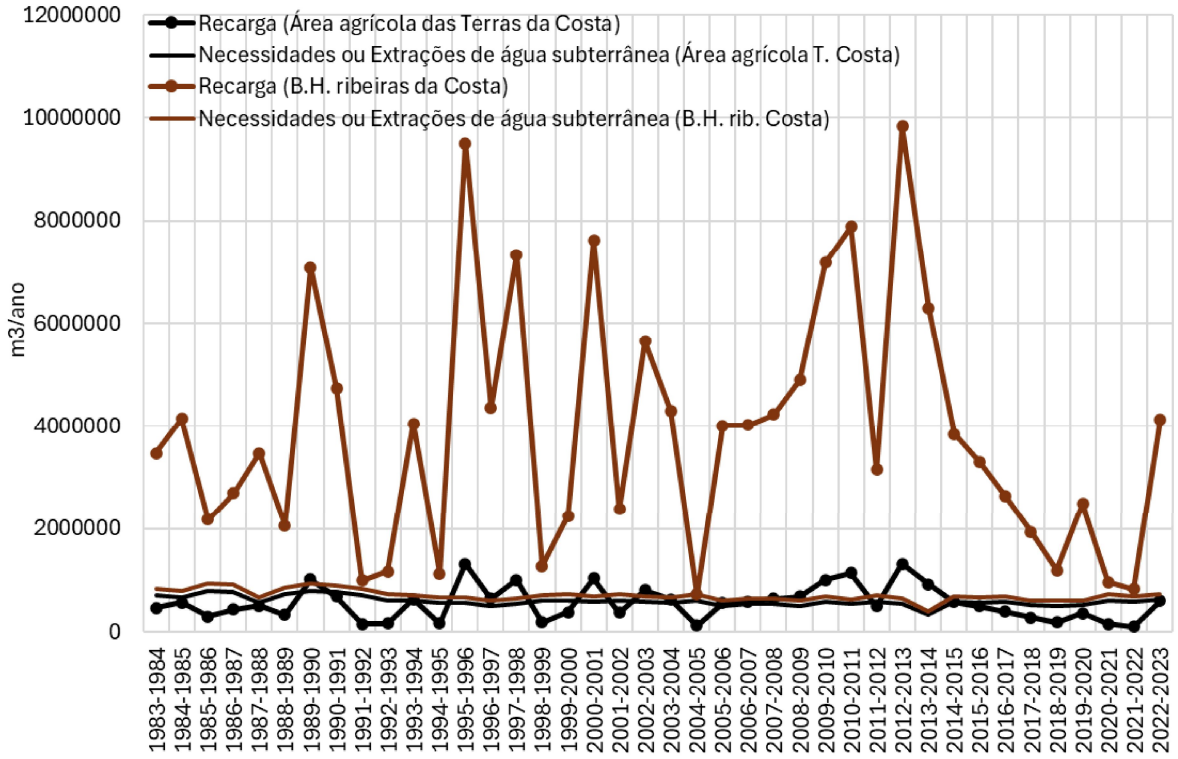


Figura 8.1 – Balanço hídrico anual entre recarga e extrações (note-se que este balanço anual não é relevante pois o importante é o balanço anual a longo prazo).

Aplicando esta regra à área deste estudo, calculam-se as disponibilidades de águas subterrâneas como 80 % do valor de recarga, ou seja:

- Área agrícola das Terras da Costa (área de 2,12 km^2): 444 dam^3/ano.
- Área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa (área de 20,34 km^2): 3106 dam^3/ano.

Considerando as disponibilidades de água subterrânea em vez da recarga, se apenas as disponibilidades calculadas pela recarga que ocorre na área agrícola das Terras da Costa estivessem disponíveis para extração, o balanço disponibilidades – extrações seria negativo, de -147 dam^3/ano. Contudo, considerando toda a área da bacia hidrográfica envolvente da zona das Terras da Costa, mesmo considerando as extrações estimadas para essa área, o balanço disponibilidades – extrações é muito positivo (= +2404 dam^3/ano).

9 | Identificação de soluções para melhorar o estado químico das águas subterrâneas

9.1 Introdução

Este capítulo pretende, face ao estado químico das águas subterrâneas caracterizado nos capítulos 4 | e 5 |, identificar possíveis ações e procedimentos para melhorar a qualidade das suas águas. Essas ações podem ser de: (1) controlo da contaminação na fonte (*e.g.*, através de ações de formação e sensibilização junto dos agricultores e utilizadores de água subterrânea para alteração de práticas de gestão e uso do solo e da água que, a longo prazo, podem resultar nas melhorias pretendidas), (2) soluções inovadoras e baseadas na natureza para reduzir a concentração de contaminantes atualmente presentes na água ou, ainda, (3) outras ações. Nas secções seguintes detalham-se estas ações.

A proteção de águas subterrâneas, juntamente com os processos de reabilitação, tem como principais objetivos (i) garantir um equilíbrio entre as captações e as recargas e (ii) evitar a deterioração da qualidade da água reduzindo o nível de tratamento necessário (Diretiva Quadro da Água, 2000/60/CE). No contexto da União Europeia, os estados-membros devem assegurar o bom estado químico e qualitativo das massas de água subterrânea através de medidas de proteção e, se necessário, reabilitação e renaturalização.

9.2 Ações de controlo da contaminação na fonte

9.2.1 Considerações gerais

A contaminação detetada na área de estudo tem como principal origem a atividade agrícola e o mau estado de conservação/inexistência das infraestruturas de saneamento dos agregados urbanos existentes.

Nesse contexto, e para o caso da contaminação agrícola, as ações a empreender devem incluir medidas educativas e de gestão agrícola que contenham ações preventivas específicas para minimizar impactos na qualidade das águas subterrâneas. Elencam-se as principais ações.

9.2.2 Ações de formação para o uso adequado de fertilizantes, pesticidas e água

Sendo a atividade agrícola a principal contribuinte para a contaminação das águas subterrâneas na área de estudo, devem ser implementadas ações de formação e de sensibilização para a utilização de fertilizantes e pesticidas na proporção adequada às necessidades das culturas. O ajustamento das quantidades destes compostos de forma a serem usados na totalidade pelas plantas (alguns desses compostos têm uma mobilidade próxima à da água) pode representar a principal ação para a diminuição da entrada de novos contaminantes nas águas subterrâneas. A CMA tem vindo, no contexto do

desenvolvimento do Agroparque, a empreender diversas ações de divulgação e sensibilização (*e.g.*, Seminário Agroparque Terras da Costa e do Mar, a 28 de junho 2024, no Convento dos Capuchos, Costa da Caparica, em parceria com a Associação Industrial Portuguesa (AIP)). Essas ações poderão ser complementadas com um apoio mais dirigido ao tipo de culturas e suas necessidades, com o apoio da FENAREG.

O uso adequado de água para rega, minimizando os excedentes que poderão ajudar a infiltrar contaminantes, deve ser adaptado nas práticas agrícolas.

9.2.3 Avaliação da compatibilidade das culturas para o tipo de solos

A boa gestão agrícola (com maximização da produtividade) está fortemente relacionada com a escolha adequada das culturas implementar face às condições do local, designadamente o tipo de solo. Nesse contexto, é fundamental que se realize uma caracterização profunda dos tipos de solo existentes na área de estudo – espessuras, granulometrias, permeabilidades.

Por outro lado, o solo é também a primeira barreira à entrada de contaminação nos aquíferos. Assim, a definição pormenorizada das manchas de solo pode, por um lado, impulsionar a seleção de culturas agrícolas mais compatíveis/produtivas e, por outro, também identificar as áreas onde o uso de fertilizantes e pesticidas deve ser feito com elevada precaução por se apresentarem solos com elevadas permeabilidades. Por exemplo, as culturas com maiores exigências em termos de fertilização poderão não ser as mais adequadas ao tipo de solos no local de estudo, já que as suas características essencialmente arenosas lhes conferem uma permeabilidade que permite a rápida infiltração de contaminantes.

9.3 Soluções para melhorar a qualidade das águas subterrâneas

9.3.1 Considerações gerais

Em complemento à necessidade de minimizar a introdução de novos contaminantes no aquífero é, igualmente, importante considerar a redução dos contaminantes existentes. A redução pode ser conseguida de três formas: (1) induzindo maior recarga de aquíferos com água de melhor qualidade, permitindo a diluição de contaminantes em determinadas áreas utilizando soluções baseadas na natureza; (2) promovendo a reabilitação natural por processos de biodegradação, adsorção, troca iónica, entre outros e (3) utilizando as águas subterrâneas com elevados conteúdos em nitratos, por exemplo, como água de ferti(rega), integrando assim a própria agricultura como meio de remoção dos fertilizantes agrícolas.

9.3.2 Recarga de aquíferos utilizando Soluções Baseadas na Natureza

As Soluções Baseadas na Natureza (*Nature-based solutions* – NBS), abordagens que utilizam ou imitam processos naturais para enfrentar desafios ambientais, sociais e económicos. integram a conservação, a gestão sustentável e a restauração de ecossistemas naturais ou modificados, contribuindo para a mitigação e adaptação às alterações climáticas, a proteção da biodiversidade e a

melhoria da qualidade dos recursos naturais (Cohen-Shacham *et al.*, 2016). Exemplos de NBS incluem a reabilitação de zonas húmidas para controlo de inundações e incremento da qualidade, a utilização de florestas para proteger solos dos processos erosivos ou a construção de infraestruturas verdes, como telhados verdes e sistemas de drenagem natural (Keesstra *et al.*, 2018).

Compatível com o conceito de NBS, a Gestão da Recarga dos Aquíferos (*Managed Aquifer Recharge* – MAR) permite mobilizar volumes provenientes de fontes de água disponíveis em alturas de pico (excedentes hídricos) armazenando-os nos reservatórios naturais que são os aquíferos. Promove-se assim o armazenamento em épocas em existem excedentes para fazer face a potenciais situações de escassez (Dillon *et al.*, 2009).

Os principais objetivos são, entre outros, aumentar os níveis piezométricos e promover a melhoria da qualidade das águas subterrâneas. As técnicas mais comuns incluem infiltração por bacias ou canais ou a injeção direta através de poços/furos (Zhang *et al.*, 2020). Em aquíferos costeiros, as técnicas MAR podem também desempenhar um papel importante no controlo do avanço da intrusão marinha.

No caso das Terras da Costa esta ideia foi avaliada. Contudo, atendendo aos resultados dos trabalhos de campo realizados, foi referido pelos munícipes que as águas torrenciais provenientes da arriba fóssil infiltravam muito rapidamente após eventos de elevada precipitação, facto que foi confirmado pelas análises químicas, *e.g.*, de ferro, junto aos meses de maior precipitação (cf. Figura 4.14).

9.3.3 Reabilitação natural

Nos processos de proteção e, em particular, na reabilitação de aquíferos, o aproveitamento dos processos naturais de depuração pode apresentar uma vantagem comparativamente a métodos mais complexos e dispendiosos. No caso de aquíferos fortemente contaminados a utilização de furos de bombagem para remoção de contaminantes ou a remoção de solos contaminados pode significar elevados investimentos de construção e manutenção.

Em alternativa, acoplado ao conceito de MAR existe o processo de tratamento solo-aquífero (*Soil-aquifer treatment* - SAT), que tira proveito da capacidade natural de depuração do solo e das camadas sedimentares para melhorar a qualidade das águas infiltradas através da retenção e/ou degradação de contaminantes. Caso o aquífero não ofereça as características necessárias para que o processo de depuração se faça com sucesso (por exemplo, solo de permeabilidade elevada e composição mineralógica composta essencialmente por inertes e baixa concentração de matéria orgânica e/ou argilas, que não promovem a retenção de contaminantes, como as areias limpas de duna ou praia) podem ser implementadas em bacias de infiltração camadas reativas com características específicas no sentido de criar uma primeira barreira de tratamento durante o processo de infiltração (*e.g.*, % de matéria orgânica ou inclusão de materiais que promovem a adsorção, como o carvão ativado granular).

A utilização destes processos requer, igualmente, um conhecimento profundo da dinâmica e resposta do sistema aquífero.

Outra origem potencial para o processo de Gestão da Recarga de Aquíferos trata-se de excedentes decorrentes de fenómenos de cheias. Uma abordagem relativamente recente, *Agricultural Managed*

Aquifer Recharge (Grinshpan *et al.*, 2021; Levintal *et al.*, 2023) – Ag-MAR – propõe a implementação de processos MAR em zonas agrícolas em períodos onde não existe utilização das terras aráveis ou em que algumas culturas se encontram em período de dormência. Exemplos de implementação incluem o alagamento de pomares através do desvio de excedentes hídricos para infiltração (Figura 9.1). Esta abordagem requer que as plantas existentes, caso existam, sejam resistentes a elevados níveis de encharcamento das raízes e variações repentinas das condições do solo (salinidade). A implementação requer uma topografia adequada e, dependendo das características do solo, pode ser compatível com técnicas SAT.



Figura 9.1 – Ag-MAR implementado numa plantação de amendoeiras na Califórnia (Grinshpan *et al.*, 2021)

Uma das principais vantagens das técnicas MAR é o aproveitamento de excedentes hídricos que, de outra forma, seriam desperdiçados, atribuindo-lhes um valor económico e fomentando oportunidades de negócio no âmbito da economia da água.

9.3.4 Remoção de fertilizantes agrícolas pela agricultura

Em zonas agrícolas onde o uso excessivo e continuado de fertilizantes e pesticidas em quantidades inadequadas resultou na contaminação do(s) aquífero(s) subjacentes, a reabilitação pode ser alcançada através da combinação de dois fatores: (i) uma redução significativa na aplicação dessas substâncias na atividade agrícola, referido na secção 9.2.2, e (ii) o uso continuado ou promovido da água subterrânea contaminada na irrigação. Este último método reduz a presença de contaminantes na origem, enquanto a bombagem de água contaminada e sua substituição por água de recarga de melhor qualidade contribui para a limpeza gradual e a melhoria do estado químico do aquífero. Acresce que o facto de as águas bombeadas já conterem compostos necessários para fertilizar e proteger as plantas permite, ainda, economizar custos na aquisição e na aplicação de novos químicos. Este ciclo, aliado à entrada natural ou induzida de água limpa no aquífero e à capacidade natural de

autodepuração do meio subterrâneo, favorece a descontaminação sustentável da área ao longo do tempo.

Estes aspetos são analisados através da modelação numérica.

9.4 Outros procedimentos de proteção das águas subterrâneas

9.4.1 Identificação de furos a captar em dois níveis aquíferos, cuja tubagem deve ser isolada para evitar contaminar o aquífero inferior

A gestão adequada dos furos de captação é essencial para evitar a contaminação cruzada entre aquíferos, geralmente visando proteger os aquíferos profundos. A garantia da qualidade da água implica que se faça uma avaliação do estado das infraestruturas existentes e, eventual, implementação de medidas corretivas ou de selagem do furo, quando necessário.

O LNEC não teve acesso a relatórios de sondagem que fornecessem informação dos aspetos construtivos dos furos inventariados.

Conforme já foi reportado, muitos dos furos encontram-se instalados no interior de poços de grande diâmetro, escavados na base destes. Nesse contexto, as profundidades dos furos foram estimadas por medições diretas da base dos poços onde estão instalados ou por comunicação dos moradores/utilizadores.

Por esse motivo, não é possível aferir a existência de furos que funcionem como *bypass* entre camadas, não sendo também possível definir com rigor se os furos captam as mesmas camadas aquíferas dos poços em que estão instalados, embora a profundidade alcançada indique que se deve tratar apenas do aquífero superficial. A existência de bombas, muitas delas instaladas de forma precária e que requer acesso ao interior do poço, também não permitiu a medição de níveis piezométricos.

De notar que muitos furos são utilizados para uso doméstico e não exclusivamente para rega.

A construção de furos requer geralmente a utilização de maquinaria pesada e deve ser realizada por equipas técnicas especializadas que assegurem que estas estruturas não representem possíveis pontos de entrada de contaminantes no aquífero - cf. secção 9.4.

O mau estado de um furo pode materializar-se na perda de produção com o decréscimo do desempenho da bomba, na turvação da água bombeada, no aparecimento de areias e siltes, no aparecimento de filtros de bactérias, decorrentes de colmatação de ralos por incrustações, corrosão, perfuração do revestimento, etc.

Para os furos já existentes, a avaliação do seu bom estado pode ser feita através da remoção do equipamento de bombagem para inspeção visual, sendo que o procedimento mais adequado pode passar pela realização de inspeção com vídeo.

A recuperação de um furo pode ser realizada através de métodos mecânicos ou químicos, ou a combinação de ambos. Os primeiros envolvem procedimentos físicos no interior do furo como a

utilização de ar comprimido ou raspagem de incrustações. Já os métodos químicos passam pela utilização de produtos com acidez adequada para a remoção de incrustações.

Em último caso, num furo que esteja danificado e em que a sua recuperação seja impossível deve-se proceder à sua selagem. O processo de selagem consiste na injeção de caldas cimento para que se proceda à total colmatação da estrutura, impedindo-se assim possíveis entradas de água pela boca ou trocas de água entre níveis aquíferos.

9.4.2 Caracterização dos elementos construtivos dos poços e furos e medidas de proteção

Poços

As bocas dos poços de grande diâmetro devem estar cobertas, primeiramente para que se evitem acidentes (*e.g.*, queda de pessoas e ou animais), mas também para evitar que se faça a entrada direta de contaminantes e detritos que podem comprometer a qualidade da água. Embora seja comum a existência de poços cobertos com malhas e redes, idealmente deve assegurar-se que estas estruturas estejam totalmente cobertas mantendo-se uma tampa de acesso e inspeção, que deve estar devidamente fechada a cadeado. Deve assegurar-se que as paredes se encontram em bom estado e que não apresentam risco de colapso.

Os poços de largo diâmetro, desde que em bom estado estrutural e que ofereçam condições de segurança, devem ser mantidos essencialmente por dois motivos: (i) muitas destas estruturas apresentam valor histórico e patrimonial fortemente ligado à cronografia local, particularmente em zonas agrícolas; (ii) os poços que não se encontram secos ou parcialmente destruídos, podem apresentar-se como fontes estratégicas de água para usos menos nobres como a lavagem de ruas, pavimentos ou veículos, podendo ser aproveitados a nível local como uma a rede informal de abastecimento.

Furos

Em contraste com os poços de largo diâmetro os furos são estruturas de diâmetro reduzido, que permitem atingir e captar profundidades superiores. Estas estruturas podem servir para monitorização, geralmente com pequenos diâmetros não superiores a seis polegadas, ou para captação. Estes últimos requerem a instalação de um sistema de bombagem. A construção destas estruturas é, por isso, mais complexa, e requer equipamento de perfuração mecânico, a aplicação de massas que sustentem as paredes durante a construção, e a implementação de elementos de revestimento como tubos de plástico roscados ou aço inoxidável com zonas de ralos nas camadas produtivas para a admissão de água subterrânea. A estes elementos acresce a instalação em profundidade de maciços filtrantes, i.e., elementos detríticos (areias, gravilhas, seixos) de composição mineralógica e granulometrias específicas que preenchem os espaços entre a camada perfurada e os tubos de revestimento. Próximo da superfície este espaço anelar é geralmente alvo de selagem de proteção com recurso a caldas de cimento, evitando-se a infiltração direta de água (e outros fluídos contaminantes) provindas da superfície do terreno.

As cabeças dos furos devem estar protegidas por tampas estanque que evitem a entrada de resíduos sem comprometer a passagem dos elementos de bombagem (tubos e fios elétricos). Nos furos de captação são idealmente construídas casinhotas de proteção da cabeça do furo e instalação de elementos elétricos, com estruturas de acesso que se devem encontrar trancadas. Estas casinhotas permitem que a localização do furo seja facilmente identificada e evitam acidentes que podem comprometer o acesso ao furo (*e.g.*, destruição da cabeça do furo por impacto de maquinaria agrícola pesada).

As bombas instaladas devem estar guarnecidas por um guarda-nível que assegura a paragem da mesma caso o nível hidrodinâmico se encontre próximo da profundidade de captação, evitando avarias.

Note-se que todo e qualquer furo deve ser realizado por empresa certificada e com experiência na área. Todos os furos construídos devem apresentar um relatório final que descreva não só as suas características estruturais (*e.g.*, descrição litológica das camadas atravessadas, profundidade de perfuração e localização de ralos, tipos de maciço filtrante e selagem, profundidade de instalação da bomba, etc.), mas também descreva, caso se trate de um furo de abastecimento, os caudais adequados de extração e os ensaios de bombagem realizados.

9.4.3 Identificação do tipo de ocupação nas zonas dos poços e furos

As zonas circundantes aos poços e furos de captação devem estar limpas. Não devem estar presentes resíduos decorrentes da atividade agrícola, *e.g.*, sacos de fertilizante, garrafas de armazenamento de pesticidas, plásticos de cobertura de estufas ou fitas de rega gota-a-gota. Também o armazenamento destes produtos deve fazer-se com a distância adequada dos pontos de água, devendo assegurar-se a impermeabilização do piso dessas estruturas de armazenagem (*e.g.*, barracões).

Devem ainda evitar-se o uso e parqueamento de maquinaria pesada nas proximidades destas estruturas que possa resultar em (i) danos da(s) paredes do furo/cabeça do furo ou (ii) perdas de óleos provindos dos sistemas de transmissão ou combustíveis.

10 | Elaboração do modelo numérico do aquífero das Terras da Costa

10.1 Introdução

Os principais objetivos para a elaboração do modelo de balanço hídrico foram estudar o efeito das alterações climáticas nas disponibilidades de águas subterrâneas, verificar se o aquífero permite satisfazer as necessidades de água para um conjunto de culturas selecionadas, considerando as situações meteorológicas do passado, e estudar as necessidades de água no futuro, considerando os cenários de alterações climáticas e as séries meteorológicas projetadas para o futuro.

Estes resultados foram validados por um modelo numérico de escoamento onde os valores estimados de recarga e de extrações de água, estas últimas em função das culturas presentes, são condições de fronteira.

O modelo numérico visou também verificar o efeito na melhoria da qualidade da água devido à rega com água subterrânea, já rica em nutrientes devido às práticas agrícolas atuais e do passado, e a não utilização de fertilizantes nas futuras práticas agrícolas, nomeadamente nas culturas de verão, com grandes necessidades hídricas.

10.2 Simulação de cenários de alterações climáticas

10.2.1 Introdução

Como referido na secção 1 |, pretende-se simular cenários de implicações das alterações climáticas na precipitação, evapotranspiração e recarga e, assim, a sustentabilidade a médio prazo das águas subterrâneas. Com esse objetivo foi necessário recriar séries de precipitação e de evapotranspiração de referência futuras, de acordo com os cenários de alterações climáticas previstos para o nosso país.

A informação de base utilizada foi extraída da “Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment” (CORDEX) (https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/projections-cordex-domains-single-levels), tendo-se selecionado os modelos climáticos globais e regionais que fornecessem informação sobre precipitação diária e sobre as variáveis necessárias ao cálculo da evapotranspiração de referência, já identificadas na secção 6.2.2, a uma escala mensal.

Foram assim selecionados os seguintes pares de modelos globais / regionais (a negrito destaca-se a forma como, para maior simplicidade, nas figuras e textos, os pares de modelos são designados):

- **CNRM**-CERFACS-CNRM-CM5 / SMHI-RCA4
- ICHEC-EC-**EARTH** / KNMI-RACMO22E
- **MPI**-M-MPI-ESM-LR / SMHI-RCA4

O cenário escolhido foi o mais drástico em termos de mudanças climáticas, tendo-se escolhido o cenário RCP8.5 ("Representative Concentration Pathway 8.5", ou seja, um aumento do forçamento radiativo de 8,5 W/m^2, em 2100, relativamente ao ano de 1750). Este cenário considera que as emissões de gases com efeito de estufa continuam a aumentar durante o século XXI.

Para cada par de modelos foram extraídos e analisados dois tipos de dados: os dados históricos e os dados relativos ao cenário RCP8.5. Os primeiros são utilizados para definir uma função de transferência que permite corrigir os valores dados pelo modelo com os valores observados, que será depois utilizada para corrigir os valores dados pelo modelo no cenário RCP8.5.

O procedimento foi:

(1) extrair os ficheiros (em formato NetCDF) relativos a cada uma das variáveis meteorológicas, com uma resolução horizontal de 0,11 graus (células quadradas de cerca de 12 km de lado), acessíveis a partir do sítio: https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/projections-cordex-domains-single-levels?tab=download.
(2) extrair dos ficheiros NetCDF as séries correspondentes à célula onde se localiza a estação do Monte da Caparica (cada NetCDF tem uma variável meteorológica – precipitação, pressão atmosférica, humidade relativa, temperatura mínima, temperatura máxima, horas de insolação, e velocidade do vento).
(3) calcular a evapotranspiração de referência, ETo, da forma apresentada na secção 6.2.2, utilizando as variáveis referidas no ponto anterior (exceto a precipitação).
(4) fazer a correção de viés definindo funções de transferência, tanto para a precipitação diária como para a evapotranspiração de referência mensal.

Consideram-se três períodos de dados na análise e produção de séries meteorológicas:

- Período de calibração: com base nos dados históricos modelados para o período de 1983/10/01 e 2005/12/31 (período comum aos dados históricos modelados e aos dados observados). É neste período que se geram as funções de transferência para correção de viés.
- Período de produção de séries: com base nos dados modelados do cenário RCP8.5 para o período de 2006/01/01 e 2100/12/31, com correção de viés utilizando as funções de transferência definidas no período de calibração. Este período inclui o período inicial de validação dos modelos:
    - Período de validação: com base nos dados modelados do cenário RCP8.5 para o período de 2006/01/01 e 2023/09/30 (período comum aos dados modelados do cenário RCP8.5 e aos dados observados).

As funções de transferência utilizaram o método de calibração quantil-quantil para corrigir a média, a variabilidade e erros de forma das funções de distribuição de probabilidade geradas pelos modelos utilizados (Gudmundsson *et al.*, 2012), tendo-se usado a metodologia apresentada em Duijnisveld (2018), que utilizou o pacote *qmap* do *software* R (Gudmundsson *et al.*, 2012).

Na altura em que se desenvolveu a iniciativa CORDEX, os dados históricos referiam-se ao período 1950-2005 e as sérias relativas às alterações climáticas ao período 2006-2100.

Para o estudo da precipitação e da evapotranspiração, a realizar nas subsecções e secções seguintes, vai-se considerar o período de 2024/10/01 a 2100/09/30.

10.2.2 Série de precipitação

Foram utilizados os dados dos três pares de modelos e comparados com os dados observados. Não é possível os modelos preverem os dias de chuva na data em que eles de facto ocorreram pelo que se faz uma análise da distribuição acumulada da chuva, começando no primeiro dia da série para verificar a correspondência entre os valores acumulados dos modelos e os das observações. Verificou-se que o modelo **EARTH** era aquele que se ajustava melhor aos dados históricos, mesmo sem executar a correção de viés (Figura 10.1).

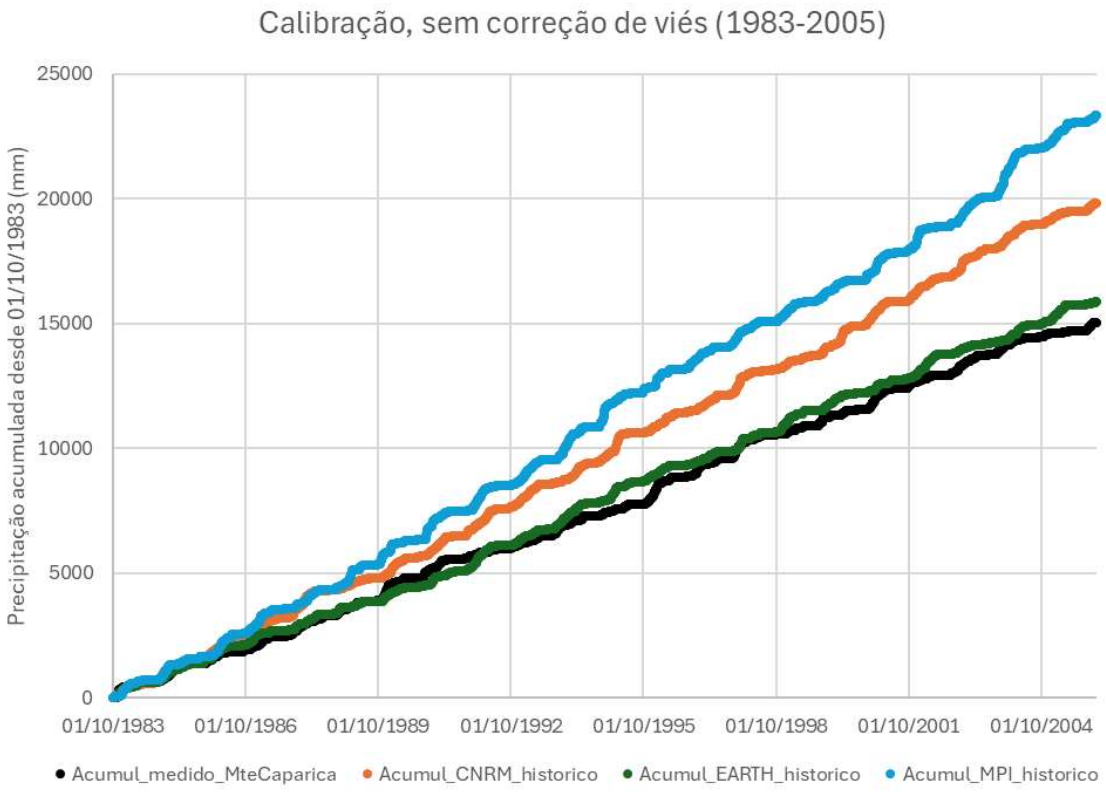


Figura 10.1 – Valores acumulados observados e dos modelos de precipitação diária para o período histórico

Os resultados dos ajustamentos das séries acumuladas após o desenvolvimento das funções de transferência para as correções de viés são apresentados na Figura 10.2.

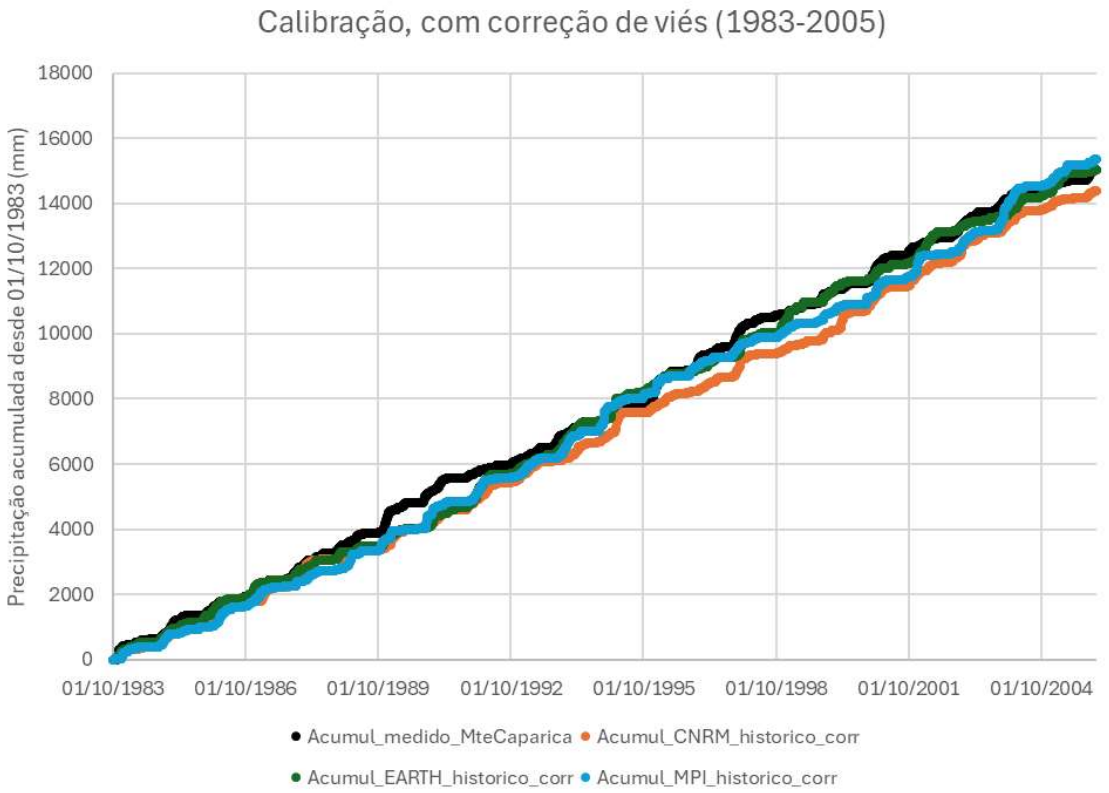


Figura 10.2 – Calibração dos modelos de precipitação diária, utilizando as séries produzidas pelos modelos para o período histórico com correção de viés

Para gerar uma boa correspondência entre os dados dos modelos e os dados históricos, desenvolveram-se as funções de transferência para correção de viés que foram depois aplicadas ao período de validação dos modelos (entre 2006/01/01 e 2023/09/30). Analisando novamente as séries acumuladas, verificou-se que os três modelos utilizados, e a média dos modelos (**ENSEM** nas figuras), se afastaram dos dados observados num período intermédio, acabando o modelo **EARTH** por ser aquele que no final do período tinha um valor acumulado menos afastado dos dados observados (Figura 10.3).

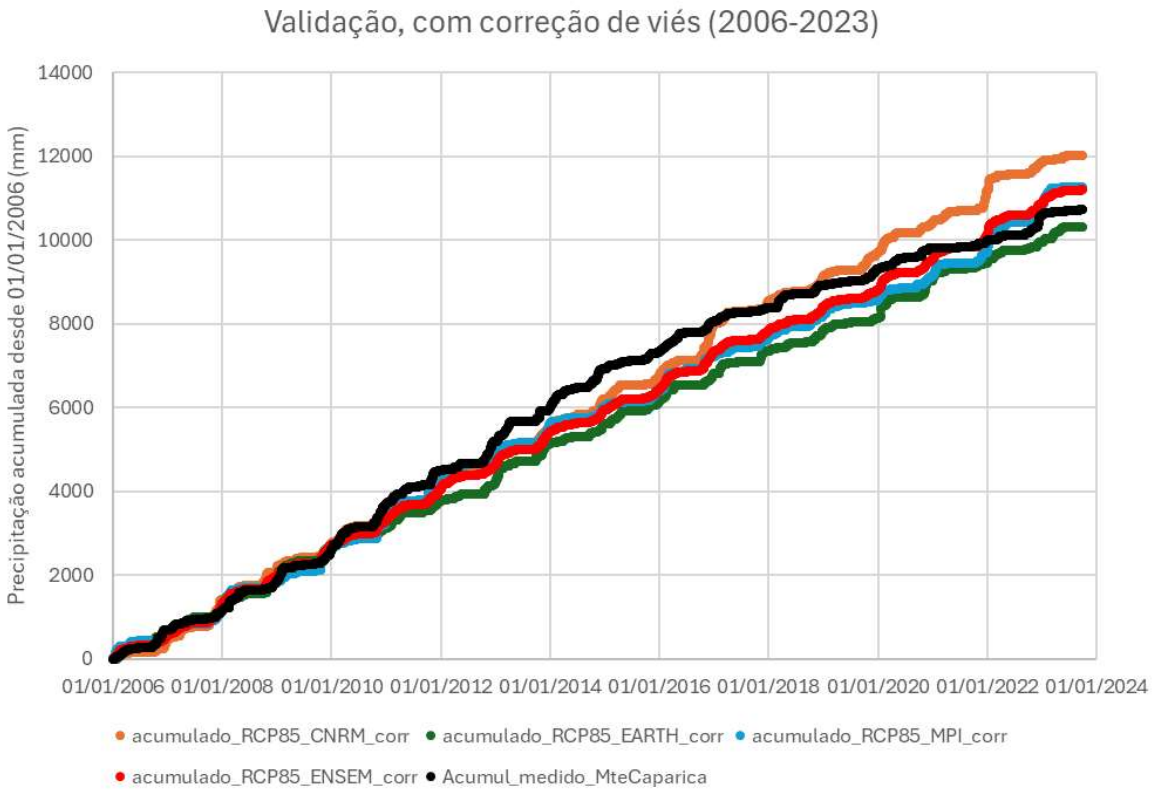


Figura 10.3 – Validação dos modelos de precipitação diária, utilizando as séries produzidas para o cenário RCP8.5 com correção de viés

Optou-se assim por utilizar o modelo **EARTH** para gerar a série de precipitação diária em cenário de alteração climática. Note-se que a utilização da média dos três modelos (**ENSEM**) gera precipitações suavizadas e mais distribuídas no tempo, eliminando picos de precipitação, criando muitos mais dias com precipitação e aumentando os valores mais baixos de precipitação, tornando-a desaconselhada.

A Figura 10.4 mostra a função distribuição de probabilidade (fdp) da série de precipitação obtida pelo modelo **EARTH** corrigida do viés para o cenário RCP8.5. A mesma figura representa quatro fdp relativas a:

- Valores medidos do período histórico, entre 1983/10/01 e 2005/12/31, a preto, com a designação Ordenado_medidoMtCaparica.
- Valores obtidos pelo modelo EARTH no mesmo período, a cor de laranja, com a designação Ordenado_EARTH_historico.
- Valores obtidos pelo modelo EARTH para o cenário RCP8.5, no período de 2006/01/01 a 2100/12/31, representados a verde, com a designação Ordenado_RCP85_EARTH.
- Valores corrigidos do modelo anterior, utilizando a função de transformação desenvolvida com base nas duas primeiras fdp, a azul, com a designação Ordenado_RCP85_EARTH_corr.

Os valores diários que deram origem à última fdp são os da série de precipitação selecionada para caracterizar o cenário de alterações climáticas RCP8.5 utilizada para os cálculos subsequentes de recarga e necessidades de água.

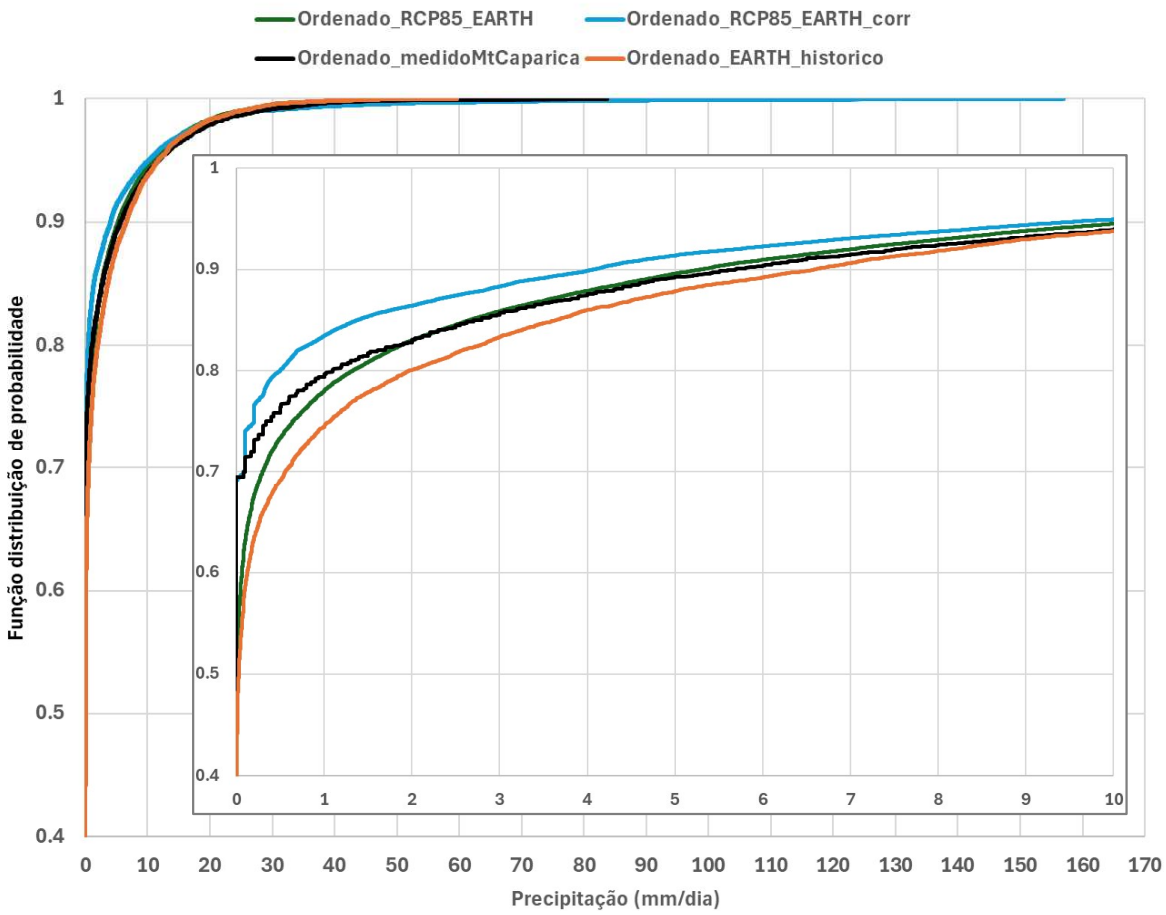


Figura 10.4 – Funções distribuição de probabilidade (fdp): dos dados históricos medidos de precipitação diária, dos resultados históricos do modelo EARTH, dos resultados obtidos pelo modelo EARTH para o cenário RCP8.5 e dos mesmos resultados corrigidos do viés. As primeiras duas fdp foram utilizadas na definição da função de transferência para correção de viés dos resultados

A Figura 10.5 apresenta os valores diários estimados por este método, representando também os valores já apresentados na Figura 6.1, para o período com observações. De igual modo, a Figura 10.6 apresenta os valores anuais por ano hidrológico, representando também os valores observados já apresentados anteriormente na Figura 6.2.

Na Figura 10.6 é possível notar a variabilidade anual dos valores de precipitação, assim como as precipitações médias para vários períodos considerados na análise das precipitações. Para o cenário de alterações climáticas consideram-se três períodos de 25 anos, de 2025/10/01 a 2050/09/30, de 2050/10/01 a 2075/09/30 e de 2075/10/01 a 2100/09/30. As várias médias obtidas para os diferentes períodos considerados são apresentadas no Quadro 10.1. Considerando a totalidade da série das projeções, a partir de outubro de 2025, a precipitação média é 21 mm/ano mais baixa que a calculada para a série histórica de 40 anos. Contudo, o primeiro período de 25 anos de projeções tem uma média superior em 33 mm/ano à da série histórica, e só os dois períodos seguintes apresentam médias mais baixas, inferiores em 52 e 45 mm/ano, respetivamente, em relação à série histórica.

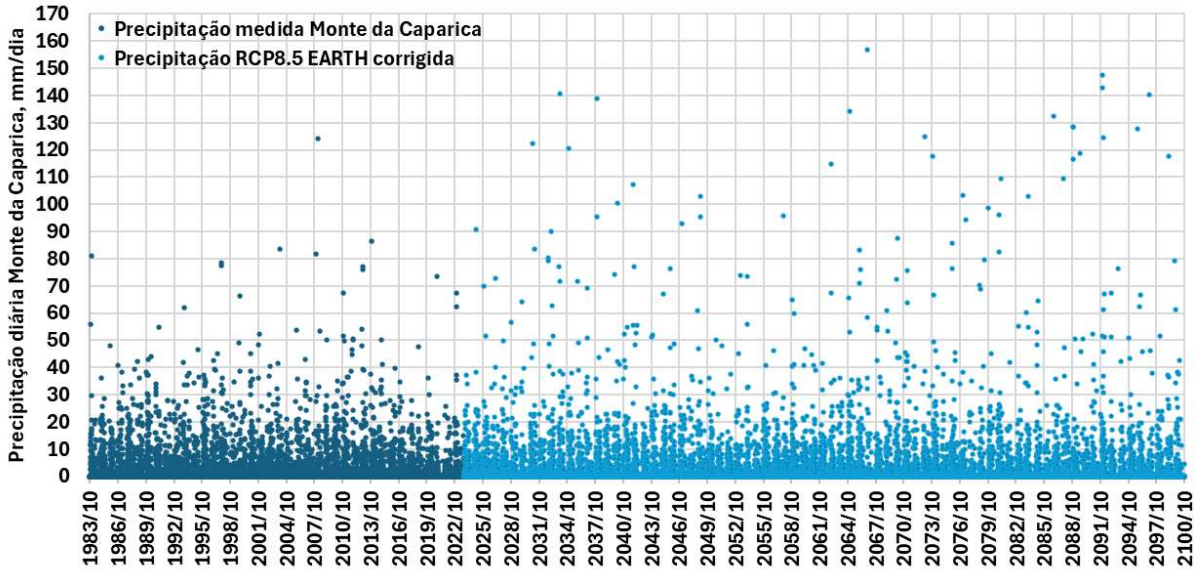


Figura 10.5 – Precipitação diária estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica, com valores observados até 2023/09/30 e valores projetados pelo modelo EARTH para o cenário RCP8.5, com correção de viés, para o período após 2023/10/01

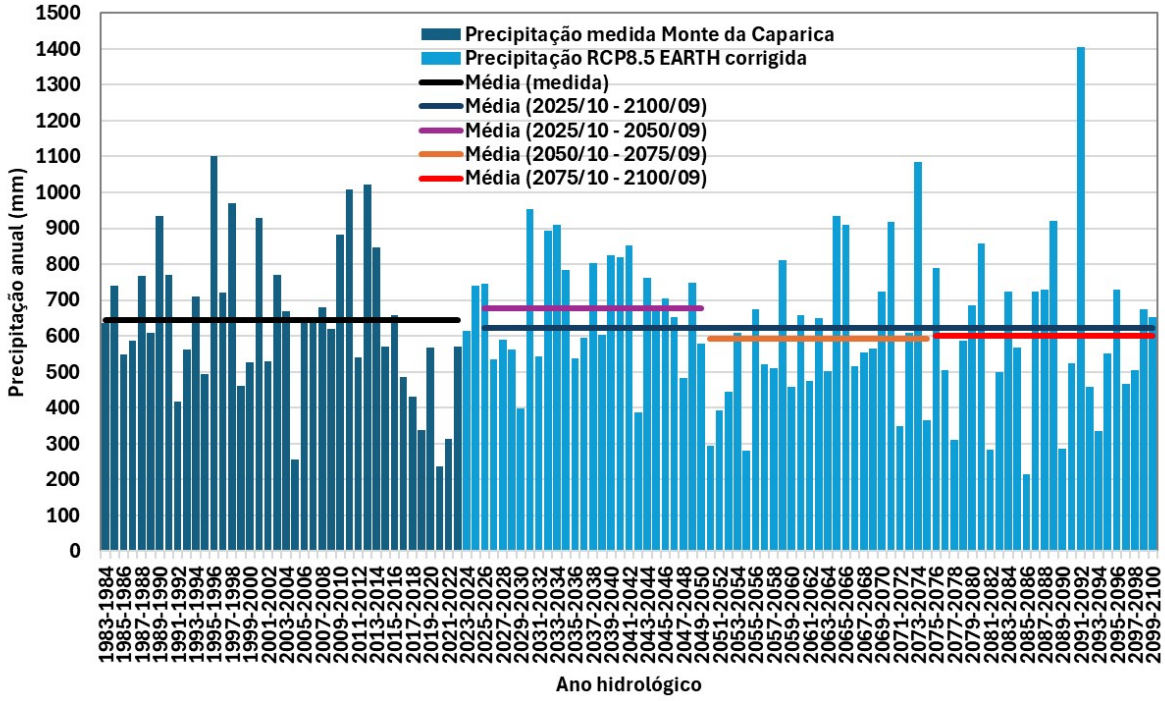


Figura 10.6 – Precipitação anual estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica, com valores observados até 2023/09/30 e valores projetados pelo modelo EARTH para o cenário RCP8.5, com correção de viés, para o período após 2023/10/01, representando-se os valores médios de vários períodos

Quadro 10.1 – Médias observadas em diferentes períodos da série de precipitação

Série	Valores medidos	Valores projetados			
	1983/10/01-2023/09/30	2025/10/01-2050/09/30	2050/10/01-2075/09/30	2075/10/01-2100/09/30	2025/10/01-2100/09/30
Média (mm/ano)	644	677	592	599	623

10.2.3 Série de evapotranspiração de referência

Procedimento análogo ao da série de precipitação foi feito para a série de evapotranspiração de referência, mas neste caso utilizando valores mensais. Por este facto, e apesar de se poder também usar as funções de distribuição de probabilidade, já foi possível usar os valores das séries para se fazer a análise.

A Figura 10.7 mostra os resultados obtidos para o período de calibração (dados históricos) onde se representam os três modelos regionais para as condições do passado. Nota-se um grande afastamento dos resultados produzidos com o modelo EARTH. Com base na relação entre os dados do modelo e os resultados de evapotranspiração de referência calculados com base nas observações estabeleceram-se as funções de transferência para realizar a correção de viés, cujos resultados da aplicação destas funções são apresentados na Figura 10.8.

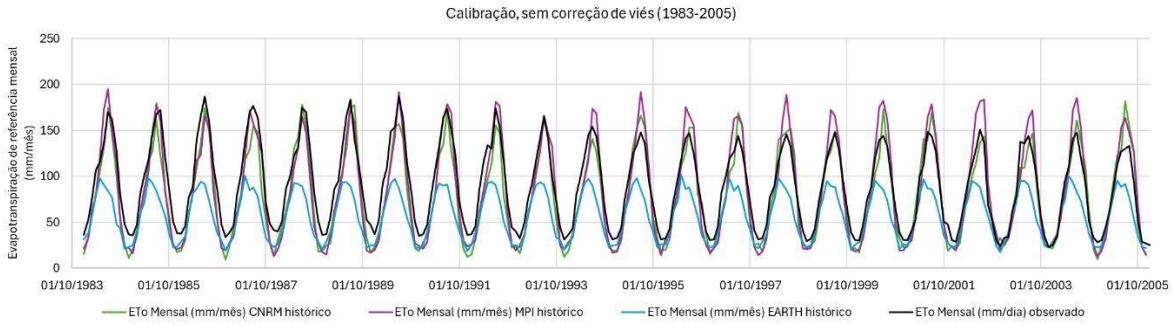


Figura 10.7 – Valores de evapotranspiração de referência observados e resultantes dos modelos para o período histórico

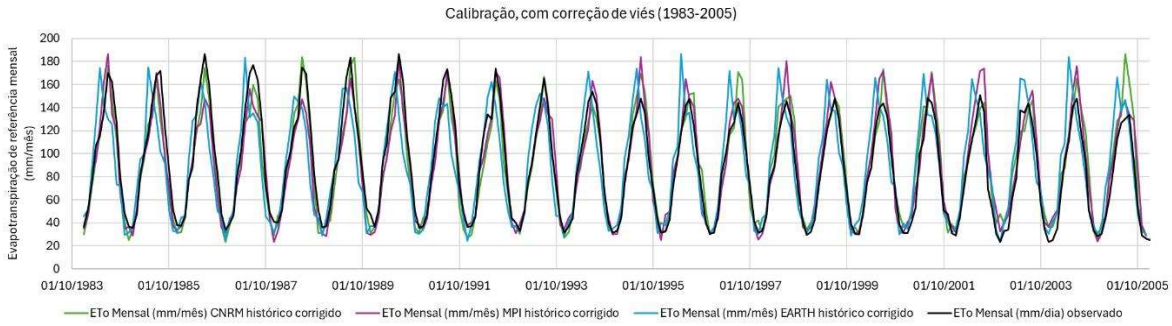


Figura 10.8 – Valores de evapotranspiração de referência observados e resultantes dos modelos para o período histórico com correção de viés

O período de validação permitiu aferir o modelo do cenário RCP8.5 que melhor se ajustava aos dados históricos, apresentando-se o resultado deste exercício na Figura 10.9 para a distribuição dos valores mensais e na Figura 10.10 para a comparação das funções distribuição de probabilidade.

Com base nos dados do período de validação selecionou-se o modelo **MPI** para caracterizar a evapotranspiração de referência mensal no cenário RCP8.5 de alterações climáticas, por ter apresentado menor desvio quadrático médio, média mais próxima e coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (NSE) mais elevado em relação aos valores calculados com base nas observações.

Apesar do melhor desempenho do modelo MPI, em muitos meses este modelo sobrestimou os valores da evapotranspiração de referência do período de validação.

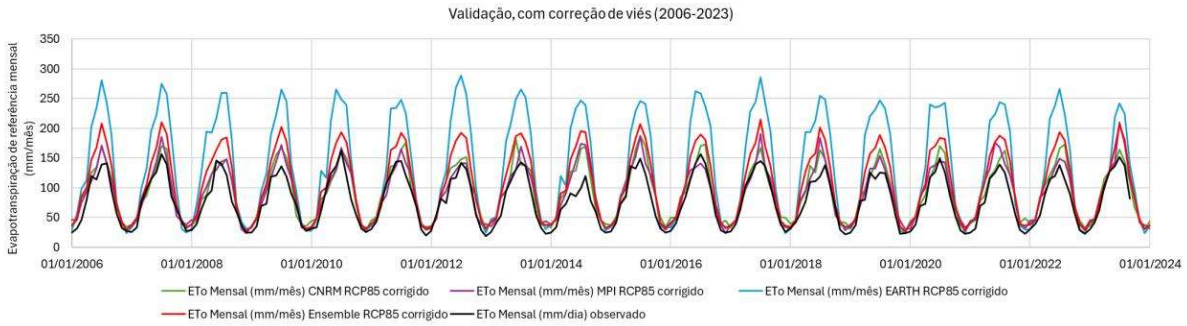


Figura 10.9 – Validação dos valores de evapotranspiração de referência mensais, utilizando as séries produzidas para o cenário RCP8.5 com correção de viés

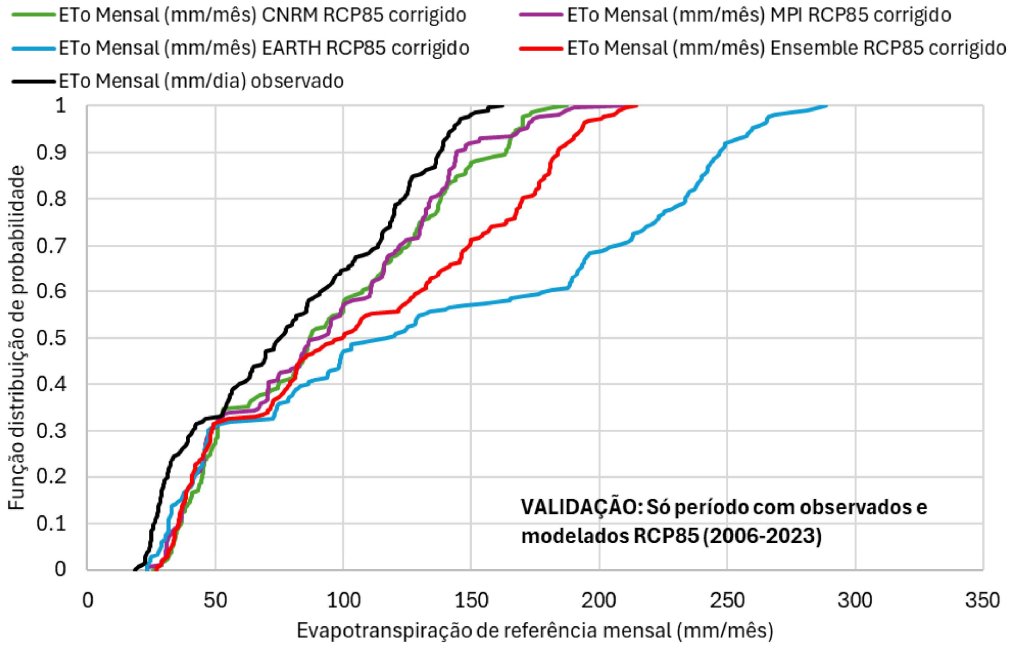


Figura 10.10 – Funções distribuição de probabilidade (fdp) da série de dados históricos calculados de evapotranspiração de referência mensais, e das séries produzidas pelos diversos modelos com correção de viés para o cenário RCP8.5

A Figura 10.11 mostra a função distribuição de probabilidade (fdp) da série de evapotranspiração de referência obtida pelo modelo **MPI** corrigida do viés para o cenário RCP8.5. A mesma figura representa quatro fdp relativas a:

- Valores calculados com base nas observações do período histórico, entre 1983/10/01 e 2005/12/31, a preto, com a designação “ETo Mensal (mm/mês) observado”.
- Valores obtidos pelo modelo MPI no mesmo período, a cor de laranja, com a designação “ETo Mensal (mm/mês) MPI histórico”.
- Valores obtidos pelo modelo MPI para o cenário RCP8.5, no período de 2006/01/01 a 2100/12/31, representados a verde, com a designação “ETo Mensal (mm/mês) MPI RCP85”.

- Valores corrigidos do modelo anterior, utilizando a função de transformação desenvolvida com base nas duas primeiras fdp, a azul, com a designação “ETo Mensal (mm/mês) MPI RCP85 corrigido”.

Os valores mensais que deram origem à última fdp são os da série de evapotranspiração de referência selecionada para caracterizar o cenário de alterações climáticas RCP8.5 utilizada para os cálculos subsequentes de recarga e necessidades de água.

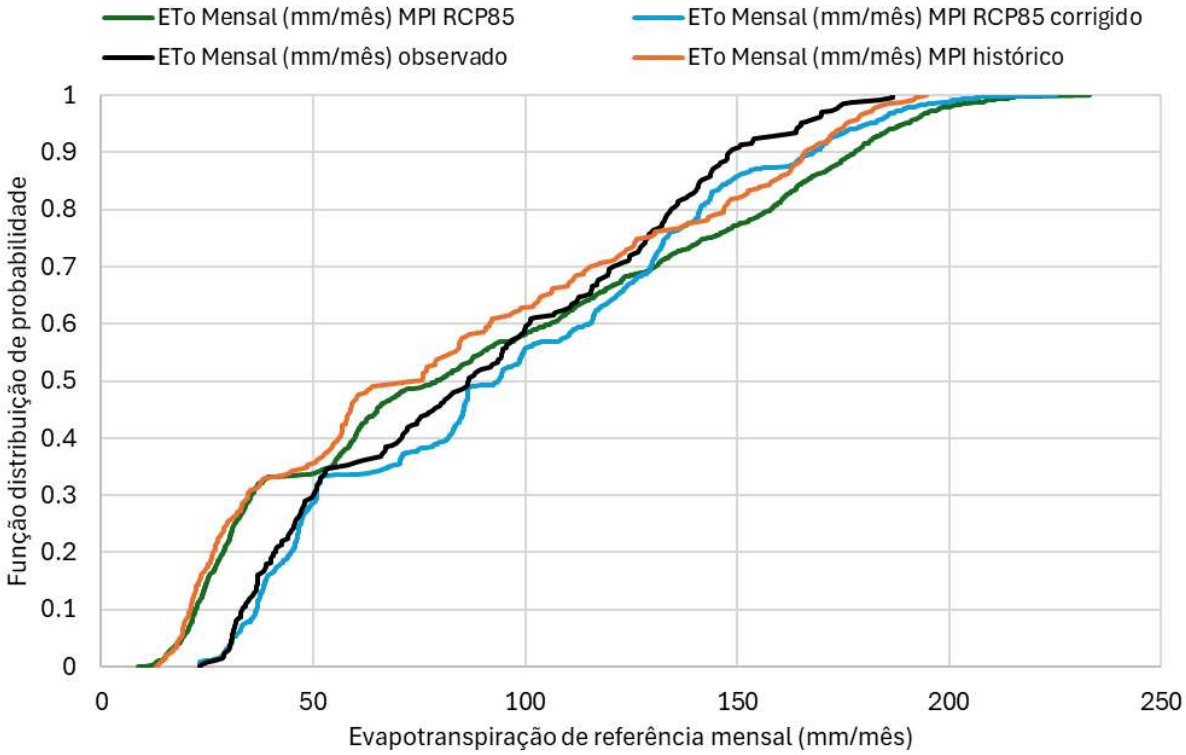


Figura 10.11 – Funções distribuição de probabilidade (fdp): dos dados históricos de evapotranspiração de referência calculados a partir das observações, dos resultados históricos do modelo MPI, dos resultados obtidos pelo modelo MPI para o cenário RCP8.5 e dos mesmos resultados corrigidos do viés. As primeiras duas fdp foram utilizadas na definição da função de transferência para correção de viés dos resultados

A Figura 10.12 apresenta os valores mensais estimados por este método, representando também os valores já apresentados na Figura 6.3, para o período com observações. De igual modo, a Figura 10.13 apresenta os valores anuais por ano hidrológico, representando também os valores observados já apresentados anteriormente na Figura 6.4.

Como se pode verificar na Figura 10.13 nota-se um aumento gradual da evapotranspiração de referência (ETo) ao longo do tempo. A mesma figura representa os valores médios para diferentes períodos. Nota-se uma descontinuidade entre os valores observados (série histórica) e os valores projetados, embora os primeiros valores projetados não sejam menores do que os valores observados até ao ano hidrológico 1999/2000. As médias obtidas para o cenário de alterações climáticas nos diferentes períodos considerados são apresentadas no Quadro 10.2. Considerando a totalidade da série das projeções, a partir de outubro de 2025, a ETo média é 145 mm/ano mais elevada que a calculada para a série histórica de 40 anos. No primeiro período de 25 anos de projeções tem uma média 108 mm/ano superior à da série histórica, no segundo período sobe mais 40 mm/ano e no

terceiro período sobe mais 29 mm/ano, o que se reflete num valor final projetado para o terceiro período superior em 177 mm/ano ao valor de ETo do período de observações.

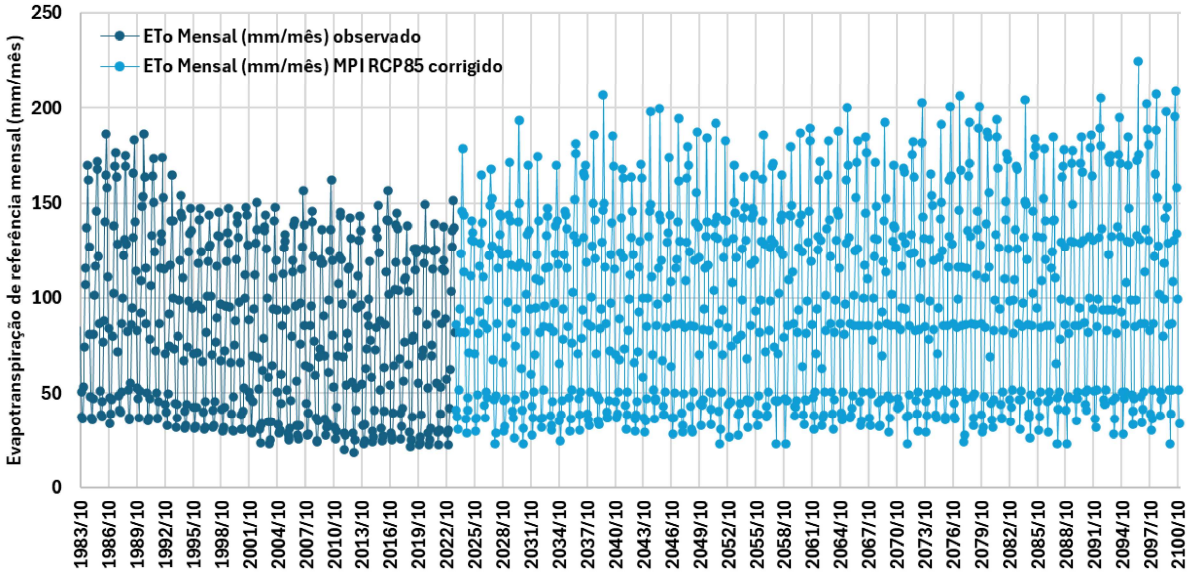


Figura 10.12 – Evapotranspiração de referência estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica, com valores observados até 2023/09/30 e valores projetados pelo modelo MPI para o cenário RCP8.5, com correção de viés, para o período após 2023/10/01

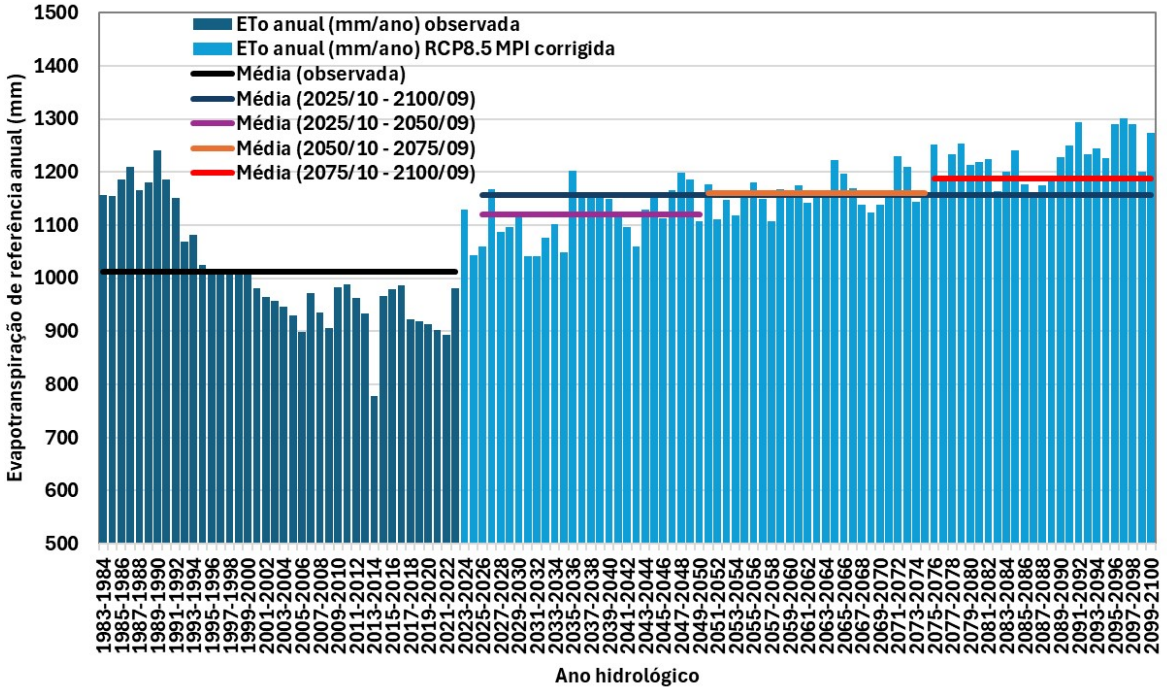


Figura 10.13 – Evapotranspiração de referência anual estimada na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica, com valores observados até 2023/09/30 e valores projetados pelo modelo MPI para o cenário RCP8.5, com correção de viés, para o período após 2023/10/01, representando-se os valores médios de vários períodos

Quadro 10.2 – Médias observadas em diferentes períodos da série de evapotranspiração de referência

Série	Valores observados	Valores projetados			
	1983/10/01-2023/09/30	2025/10/01-2050/09/30	2050/10/01-2075/09/30	2075/10/01-2100/09/30	2025/10/01-2100/09/30
Média (mm/ano)	1012	1120	1160	1189	1157

10.2.4 Estimativa da recarga em cenário de alterações climáticas

10.2.4.1 Introdução

Com base nas séries de precipitação diária e de evapotranspiração de referência mensal e assumindo solos e ocupação do solo semelhantes às existentes atualmente utiliza-se o mesmo procedimento da secção 6 | para o cálculo da recarga. Os parâmetros característicos dos solos e da ocupação dos solos, necessários à corrida do modelo, são os apresentados no Quadro 6.4 e no Quadro 6.7.

Uma vez que as condições mais restritivas para a recarga do aquífero e para as disponibilidades de água são as que ocorrem para valores mais baixos de precipitação e mais elevados de evapotranspiração, a corrida do modelo BALSEQ_MOD é feita utilizando o último período de 25 anos das séries calculadas, ou seja, o período de 2075/10/01 a 2100/09/30. Nas secções seguintes apresentam-se os resultados da corrida do modelo.

10.2.4.2 Bacia hidrográfica

Balanço hídrico anual

A Figura 10.14 apresenta a distribuição da recarga anual média estimada no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período 2075/10/01 a 2100/09/30, na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada, considerando a ocupação do solo utilizada na secção 6.3, ou seja que a área com código Corine Land Cover = 242 (Sistemas culturais e parcelares complexos) era constituída por couve 50% + milho 50%, para representar os tipos de cultura de inverno e de verão (cf. Quadro 6.6).

Os resultados anuais médios por processo, modelado no balanço hídrico, são os apresentados no Quadro 10.3.

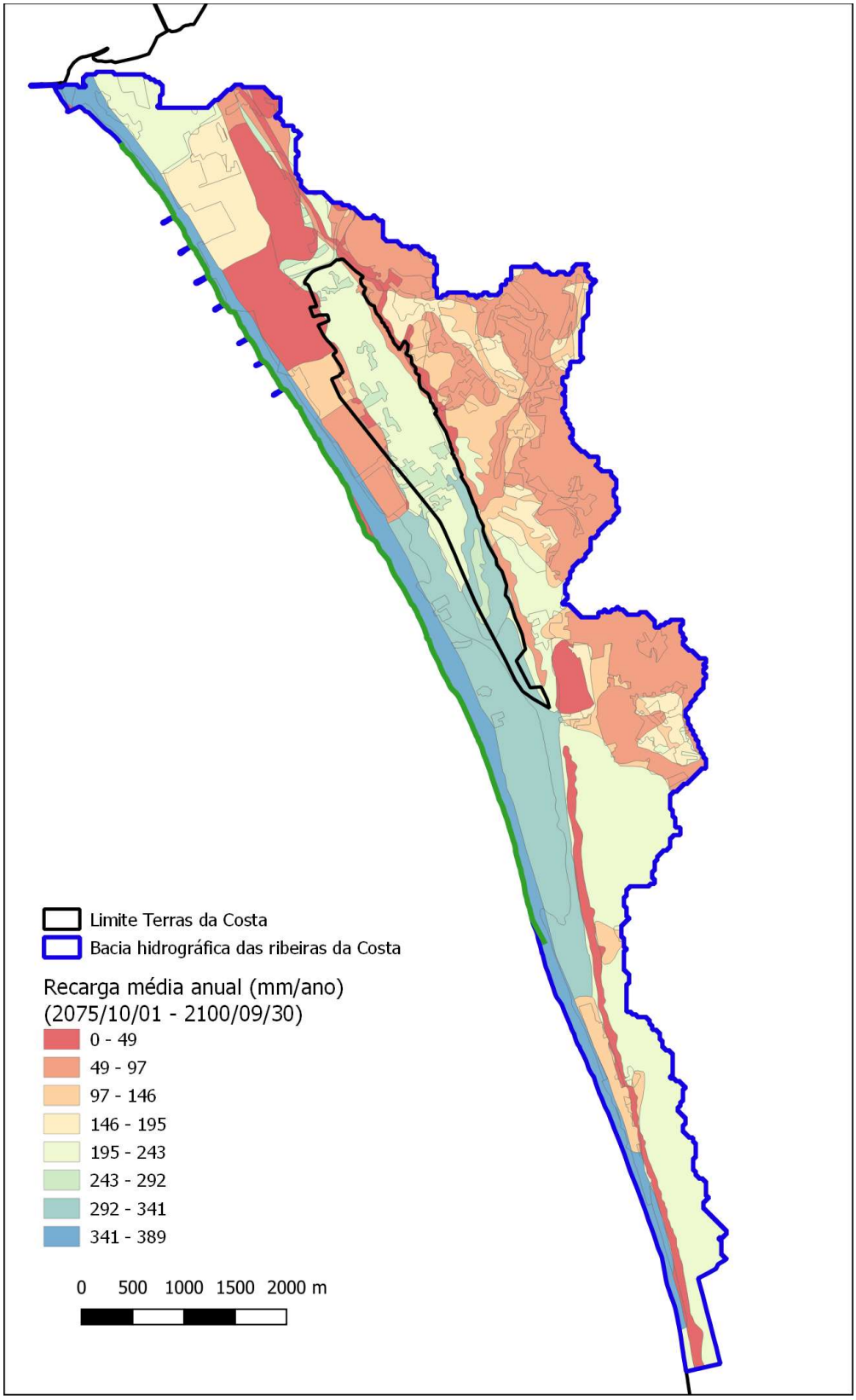


Figura 10.14 – Distribuição da recarga anual média estimada no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período 2075/10/01 a 2100/09/30, na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Quadro 10.3 – Valores anuais médios resultantes do balanço hídrico do período de 2075/10/01 a 2100/09/30 na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Bacia hidrográfica (área = 2 039,5 ha)	Quantidade	
	(mm/ano)	(x1000 m³/ano)
Precipitação anual média	599	12 224
Escoamento direto anual médio	139	2 825
Evapotranspiração potencial anual média	1 148	23 411
Evapotranspiração anual média	286	5 832
Recarga anual média	175	3 566

Para a totalidade da bacia hidrográfica modelada, os valores por ano hidrológico obtidos de precipitação, escoamento direto, evapotranspiração e recarga são os representados na Figura 10.15 e no Quadro 10.4. Este último apresenta também os valores da evapotranspiração potencial.

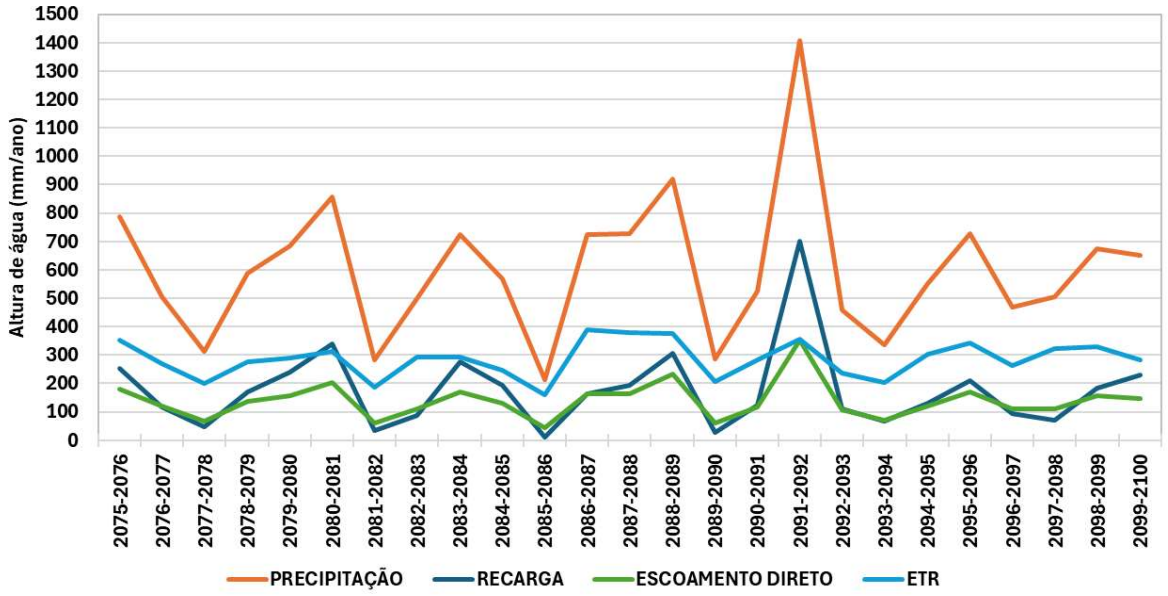


Figura 10.15 – Precipitação, escoamento direto, evapotranspiração (ETR) e recarga anual estimados para a totalidade da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada para o cenário de alterações climáticas

Quadro 10.4 – Resultados anuais do balanço hídrico da área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada (mm/ano) para o cenário de alterações climáticas

Ano hidrológico	Precipitação	Escoamento direto	Evapotranspiração potencial	Evapotranspiração real	Recarga
2075-2076	788	181	1168	352	252
2076-2077	504	120	1118	268	117
2077-2078	312	67	1149	201	46
2078-2079	587	138	1171	278	169
2079-2080	685	156	1131	290	240
2080-2081	857	205	1139	313	340
2081-2082	282	60	1143	187	35
2082-2083	499	109	1088	292	86
2083-2084	725	169	1126	291	277
2084-2085	569	129	1152	246	193
2085-2086	214	45	1098	159	11
2086-2087	724	164	1081	389	163
2087-2088	729	164	1095	378	192
2088-2089	921	234	1106	376	305
2089-2090	286	61	1147	208	26
2090-2091	525	116	1172	282	124
2091-2092	1406	352	1204	354	700
2092-2093	457	106	1153	236	109
2093-2094	335	72	1165	204	66
2094-2095	551	120	1149	302	131
2095-2096	728	171	1209	344	211
2096-2097	467	111	1217	263	93
2097-2098	506	109	1204	323	72
2098-2099	675	158	1127	330	185
2099-2100	653	147	1185	283	229
Média	**599**	**139**	**1148**	**286**	**175**

Balanço hídrico médio mensal

Apresenta-se na Figura 10.16 os valores mensais médios estimados para o período de 25 anos entre 1975/10/01 e 2100/09/30. Os mesmos valores médios são apresentados no Quadro 10.5, expressos em altura de água, e no Quadro 10.6, expressos em volumes. O Quadro 10.7 apresenta os valores mensais de recarga obtidos. Os meses de janeiro e dezembro são, em média, aqueles que registam valores mais altos de recarga, seguindo-se os meses de fevereiro e novembro.

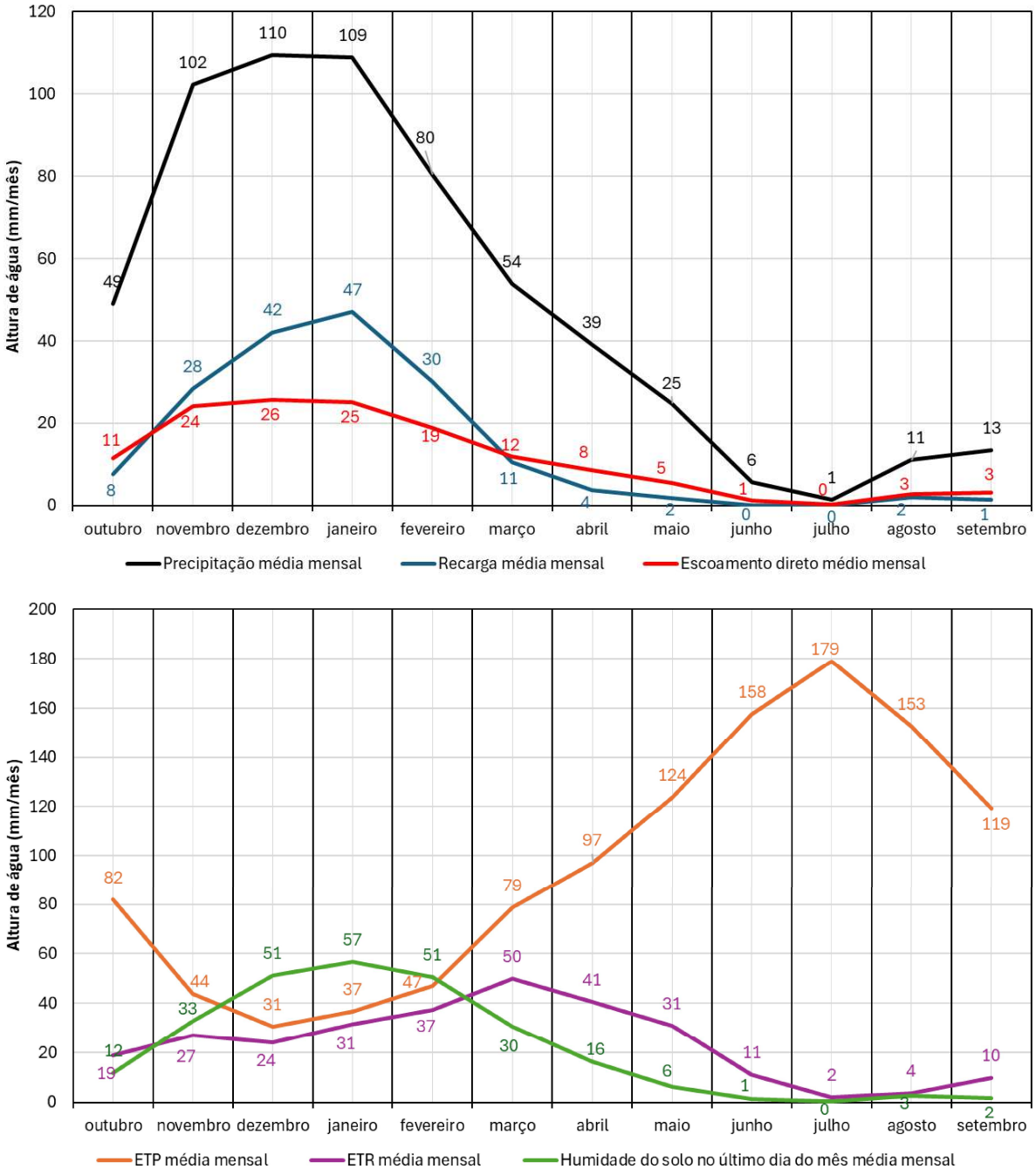


Figura 10.16 – Precipitação, escoamento direto, recarga, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), todos mensais médios estimados (para o período out/2075-set/2100), e média da quantidade de água armazenada no solo disponível para evapotranspiração no último dia do mês, na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Quadro 10.5 – Valores mensais médios do balanço hídrico estimado, para o período 2075/10/01-2100/09/30 (mm/mês), na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Processo	outu-bro	novem-bro	dezem-bro	janeiro	feve-reiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setem-bro	Média mensal
Precipitação	49	102	110	109	80	54	39	25	6	1	11	13	50
Escoam. direto	11	24	26	25	19	12	8	5	1	0	3	3	12
ETP	82	44	31	37	47	79	97	124	158	179	153	119	96
ETR	19	27	24	31	37	50	41	31	11	2	4	10	24
Recarga	8	28	42	47	30	11	4	2	0	0	2	1	15
Humidade do solo no último dia do mês (mm)	12	33	51	57	51	30	16	6	1	0	3	2	22

Quadro 10.6 – Valores mensais médios do balanço hídrico estimado, para o período 2075/10/01-2100/09/30 (x1000 m^3/mês), na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada

Processo	outu-bro	novem-bro	dezem-bro	janeiro	feve-reiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setem-bro	Média mensal
Precipitação	1000	2086	2234	2221	1641	1097	799	505	115	27	226	274	1019
Escoam. direto	233	492	525	513	387	243	173	111	24	6	57	62	235
ETP	1674	890	624	750	957	1604	1980	2524	3216	3649	3113	2430	1951
ETR	386	550	488	639	760	1018	829	628	225	41	72	197	486
Recarga	155	580	859	959	616	216	77	36	1	0	41	27	297
Humidade do solo no último dia do mês (m^3)	236	668	1043	1157	1032	620	332	127	24	5	53	34	444

Quadro 10.7 – Recarga mensal estimada para o período 2075/10/01-2100/09/30 na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada (mm/mês)

Ano hidrológico	outubro	novem-bro	dezem-bro	janeiro	feve-reiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setem-bro	Total anual
2075-2076	2,4	39,3	94,8	18,0	30,2	66,0	0,1	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	**252**
2076-2077	6,5	0,0	0,0	15,3	67,8	0,0	3,8	23,6	0,0	0,0	0,0	0,0	**117**
2077-2078	7,5	19,2	0,0	19,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	**46**
2078-2079	0,0	18,3	86,8	0,1	31,3	2,7	29,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**169**
2079-2080	31,7	75,1	24,1	73,1	33,5	0,4	0,1	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	**240**
2080-2081	2,4	22,4	148,7	50,9	112,4	0,1	2,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	**340**
2081-2082	6,3	1,9	0,0	0,0	26,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**35**
2082-2083	0,0	10,3	27,6	33,6	0,1	1,2	7,3	0,6	0,0	0,0	0,0	5,3	**86**
2083-2084	6,5	37,6	40,8	181,2	9,2	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**277**
2084-2085	1,0	0,0	52,9	127,7	0,1	0,1	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**193**
2085-2086	0,0	1,8	0,0	6,1	1,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**11**
2086-2087	59,7	7,4	30,1	23,6	12,3	21,8	0,7	3,2	0,0	0,0	0,0	4,7	**163**
2087-2088	0,0	85,6	38,7	1,1	33,0	28,1	5,3	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	**192**
2088-2089	0,0	194,4	8,9	50,0	0,9	11,0	0,1	0,1	0,0	0,0	31,2	8,1	**305**
2089-2090	0,9	10,9	7,7	1,6	0,0	0,0	3,7	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	**26**
2090-2091	0,6	3,3	27,4	80,0	7,7	0,8	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	**124**
2091-2092	6,0	7,3	200,6	195,9	225,8	62,9	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	**700**
2092-2093	0,0	64,2	20,8	8,4	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	**109**
2093-2094	0,0	0,0	34,3	28,6	2,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**66**
2094-2095	10,5	21,1	79,5	16,6	0,1	1,9	0,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	**131**
2095-2096	39,8	26,1	34,6	71,8	6,3	32,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**211**
2096-2097	0,0	3,6	0,8	60,0	12,8	0,9	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**93**
2097-2098	5,8	9,3	23,5	1,8	0,8	21,5	3,4	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	**72**
2098-2099	0,0	0,0	27,4	37,1	91,9	0,6	8,1	0,0	0,0	0,0	19,5	0,0	**185**
2099-2100	1,8	52,0	42,6	73,0	48,7	9,7	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	**229**
Média	**7,6**	**28,4**	**42,1**	**47,0**	**30,2**	**10,6**	**3,8**	**1,8**	**0,1**	**0,0**	**2,0**	**1,3**	**175**

10.2.4.3 Terras da Costa

Balanço hídrico anual

A Figura 10.17 apresenta a distribuição da recarga anual média estimada no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período 2075/10/01 a 2100/09/30, na área das Terras da Costa, considerando a ocupação do solo utilizada na secção 6.3, ou seja que a área com código Corine Land Cover = 242 (Sistemas culturais e parcelares complexos) era constituída por couve 50% + milho 50%, para representar os tipos de cultura de inverno e de verão (cf. Quadro 6.6).

Os resultados anuais médios por processo modelado no balanço hídrico são os apresentados no Quadro 10.8.

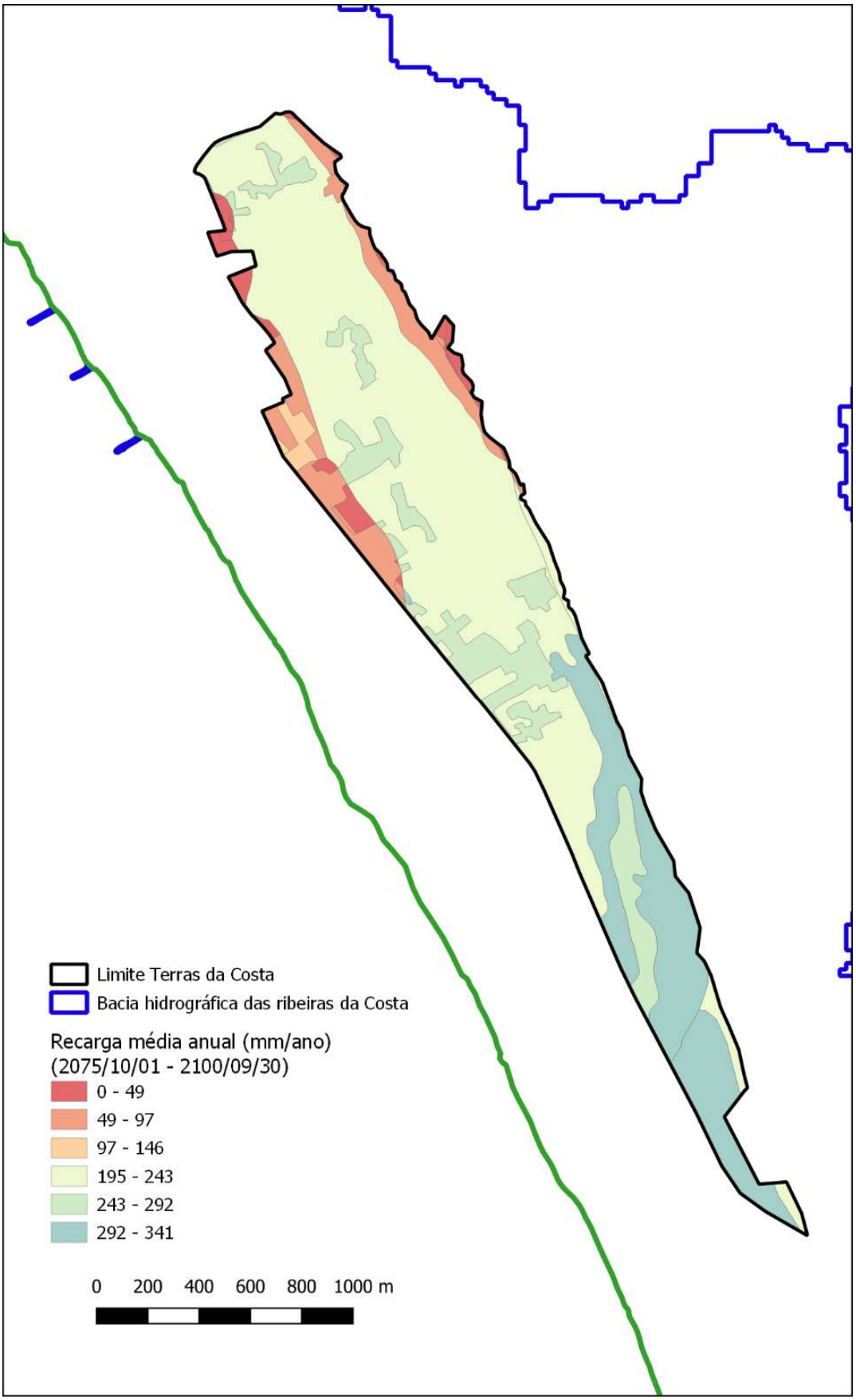


Figura 10.17 – Distribuição da recarga anual média estimada no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período 2075/10/01 a 2100/09/30, na área das Terras da Costa

Quadro 10.8 – Valores anuais médios resultantes do balanço hídrico estimados no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período de 2075/10/01 a 2100/09/30, na área das Terras da Costa

Terras da Costa (área = 211,6 ha)	Quantidade	
	(mm/ano)	(x1000 m³/ano)
Precipitação anual média	599	1 268
Escoamento direto anual médio	45	96
Evapotranspiração potencial anual média	1 338	2 832
Evapotranspiração anual média	319	676
Recarga anual média	234	496

Para a totalidade da área das Terras da Costa, os valores por ano hidrológico obtidos de precipitação, escoamento direto, evapotranspiração e recarga são os representados na Figura 10.18 e no Quadro 10.9. Este último apresenta também os valores da evapotranspiração potencial.

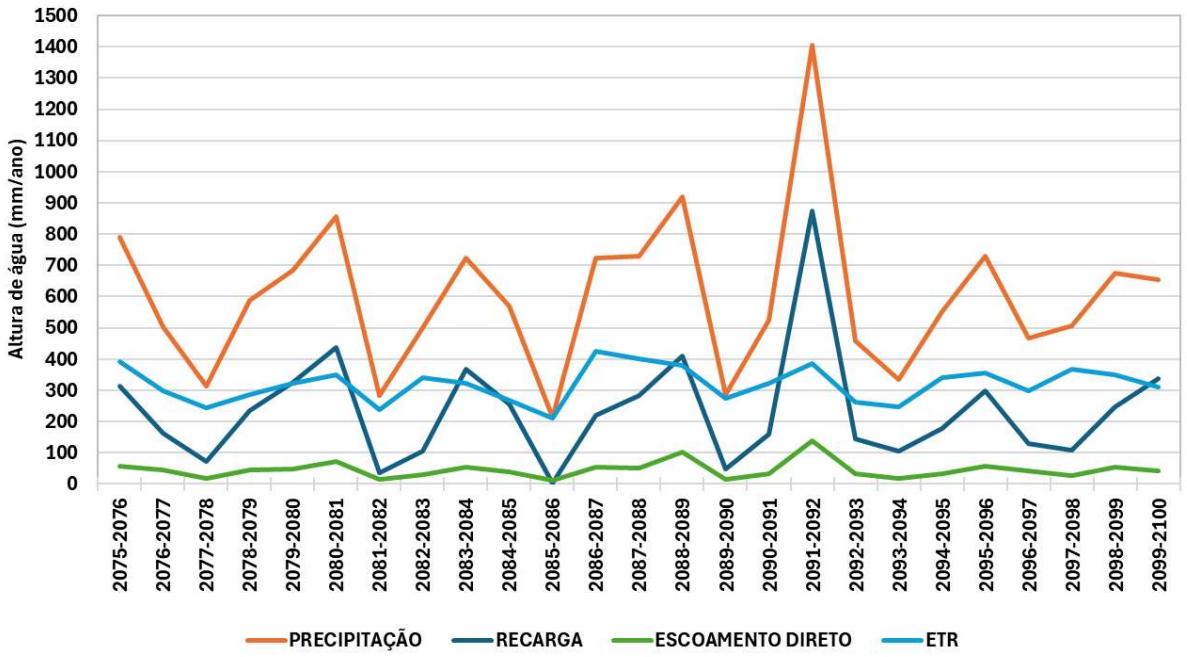


Figura 10.18 – Precipitação, escoamento direto, evapotranspiração (ETR) e recarga anual estimados no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período de 2075/10/01 a 2100/09/30, para as Terras da Costa

Quadro 10.9 – Resultados anuais do balanço hídrico estimado no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período de 2075/10/01 a 2100/09/30, na área das Terras da Costa (mm/ano)

Ano hidrológico	Precipitação	Escoamento direto	Evapotranspiração potencial	Evapotranspiração real	Recarga
2075-2076	788	57	1360	391	315
2076-2077	504	44	1300	299	161
2077-2078	312	17	1341	244	71
2078-2079	587	45	1361	285	236
2079-2080	685	47	1320	322	325
2080-2081	857	73	1328	351	436
2081-2082	282	16	1330	238	37
2082-2083	499	29	1268	340	104
2083-2084	725	55	1313	322	368
2084-2085	569	38	1345	267	257
2085-2086	214	11	1283	212	3
2086-2087	724	54	1262	424	219
2087-2088	729	50	1274	401	282
2088-2089	921	102	1290	378	411
2089-2090	286	16	1337	273	48
2090-2091	525	31	1365	322	160
2091-2092	1406	139	1405	385	874
2092-2093	457	34	1342	263	144
2093-2094	335	19	1358	247	106
2094-2095	551	31	1340	340	176
2095-2096	728	58	1408	355	299
2096-2097	467	42	1417	299	130
2097-2098	506	28	1406	367	109
2098-2099	675	55	1313	349	246
2099-2100	653	41	1387	310	337
Média	**599**	**45**	**1338**	**319**	**234**

Balanço hídrico médio mensal

Os resultados do modelo, de incremento diário, podem ser observados com mais pormenor, agregados por mês. Apresenta-se na Figura 10.19 os valores mensais médios dos 25 anos modelados. Os mesmos valores médios são apresentados no Quadro 10.10, expressos em altura de água, e no Quadro 10.11, expressos em volumes. O Quadro 10.12 apresenta os valores mensais de recarga obtidos. Os meses de janeiro e dezembro são, em média, aqueles que registam valores mais altos de recarga, seguindo-se os meses de fevereiro e novembro.

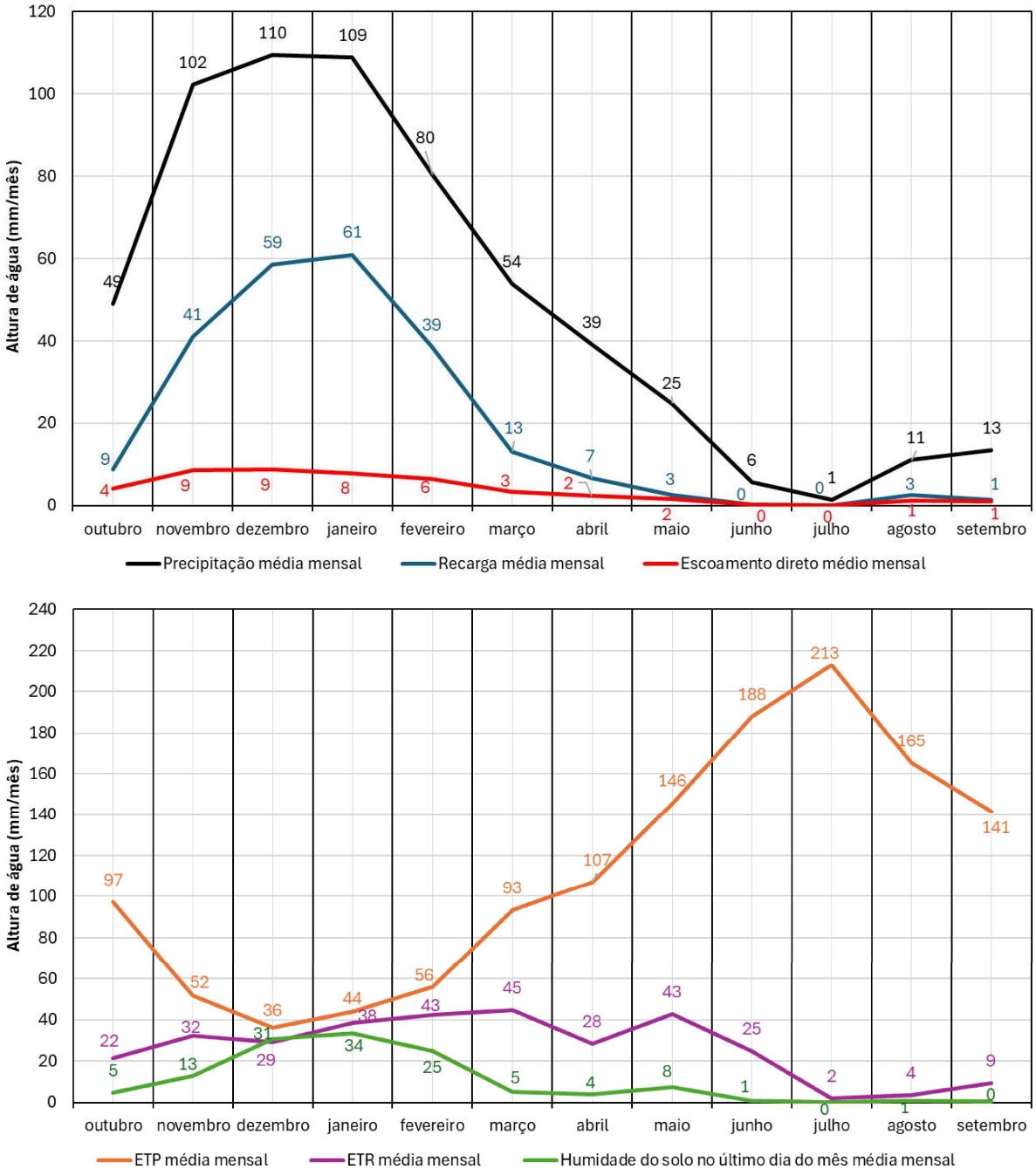


Figura 10.19 – Precipitação, escoamento direto, recarga, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), todos mensais médios estimados (para o período 2075/10/01-2100/09/30), e média da quantidade de água armazenada no solo disponível para evapotranspiração no último dia do mês, na área das Terras da Costa

Quadro 10.10 – Valores mensais médios do balanço hídrico estimado, para o período 2075/10/01-2100/09/30 (mm/mês), na área das Terras da Costa

Processo	outu-bro	novem-bro	dezem-bro	janeiro	feve-reiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setem-bro	Média mensal
Precipitação	49	102	110	109	80	54	39	25	6	1	11	13	50
Escoam. direto	4	9	9	8	6	3	2	2	0	0	1	1	4
ETP	97	52	36	44	56	93	107	146	188	213	165	141	112
ETR	22	32	29	38	43	45	28	43	25	2	4	9	27
Recarga	9	41	59	61	39	13	7	3	0	0	3	1	20
Humidade do solo no último dia do mês (mm)	5	13	31	34	25	5	4	8	1	0	1	0	10

Quadro 10.11 – Valores mensais médios do balanço hídrico estimado, para o período 2075/10/01-2100/09/30 (x1000 m^3/mês), na área das Terras da Costa

Processo	outu-bro	novem-bro	dezem-bro	janeiro	feve-reiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setem-bro	Média mensal
Precipitação	104	216	232	230	170	114	83	52	12	3	23	28	106
Escoam. direto	9	18	19	17	14	7	5	3	1	0	3	2	8
ETP	205	110	77	93	118	198	226	308	397	450	350	299	236
ETR	46	68	62	81	90	94	60	91	53	4	8	19	56
Recarga	19	87	124	129	81	28	14	6	0	0	5	3	41
Humidade do solo no último dia do mês (m^3)	10	27	65	71	53	11	8	16	2	0	2	1	22

Quadro 10.12 – Recarga mensal estimada para o período 2075/10/01-2100/09/30 na área das Terras da Costa (mm/mês)

Ano hidrológico	outubro	novem-bro	dezem-bro	janeiro	feve-reiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setem-bro	Total anual
2075-2076	0,3	43,8	124,9	21,8	39,1	81,8	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	**315**
2076-2077	9,9	0,0	0,0	10,9	99,7	0,0	6,0	34,9	0,0	0,0	0,0	0,0	**161**
2077-2078	11,2	27,8	0,0	32,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	**71**
2078-2079	0,0	11,4	123,8	0,0	40,6	4,2	55,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**236**
2079-2080	46,4	106,6	31,9	95,4	43,1	0,2	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	**325**
2080-2081	0,7	27,3	204,5	63,3	137,1	0,0	3,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	**436**
2081-2082	2,1	2,0	0,0	0,0	32,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**37**
2082-2083	0,0	2,5	40,3	42,5	0,0	0,6	12,7	0,4	0,0	0,0	0,0	4,9	**104**
2083-2084	8,8	61,2	54,8	231,5	9,8	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**368**
2084-2085	0,1	0,0	68,1	169,0	0,0	0,0	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**257**
2085-2086	0,0	0,8	0,0	0,8	0,3	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**3**
2086-2087	70,2	17,5	47,9	30,1	13,8	24,6	1,0	7,4	0,0	0,0	0,0	6,6	**219**
2087-2088	0,0	128,3	54,6	1,4	45,7	37,4	12,8	0,3	1,2	0,0	0,0	0,0	**282**
2088-2089	0,0	258,8	12,2	65,2	0,7	16,1	0,1	0,2	0,0	0,0	42,9	14,7	**411**
2089-2090	1,0	25,9	12,7	2,0	0,0	0,0	5,7	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**48**
2090-2091	0,1	1,2	30,5	108,7	12,0	1,5	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	**160**
2091-2092	4,9	9,1	265,4	243,0	275,3	76,1	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	**874**
2092-2093	0,0	95,5	28,0	12,3	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7	**144**
2093-2094	0,0	0,0	60,1	41,0	3,3	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**106**
2094-2095	3,0	32,5	117,1	20,3	0,0	2,0	0,8	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	**176**
2095-2096	50,1	54,5	51,3	96,6	8,8	37,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**299**
2096-2097	0,0	4,2	0,2	81,9	16,7	0,8	26,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**130**
2097-2098	7,6	12,6	38,5	2,3	1,3	29,8	5,7	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	**109**
2098-2099	0,0	0,0	36,8	53,7	119,5	0,3	14,1	0,0	0,0	0,0	21,2	0,0	**246**
2099-2100	2,5	99,9	60,6	97,9	62,6	12,6	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	**337**
Média	**8,8**	**40,9**	**58,6**	**61,0**	**38,5**	**13,1**	**6,6**	**2,6**	**0,2**	**0,0**	**2,6**	**1,4**	**234**

10.3 Caracterização das necessidades de água

10.3.1 Introdução

Para um conjunto específico de culturas apresenta-se o cálculo das necessidades de água, utilizando quer as séries meteorológicas do passado, quer séries meteorológicas projetadas para o futuro, refletindo cenários de alterações climáticas. Os procedimentos são os mesmos que os utilizados nas secções 6.3, para o passado, e 10.2.4, para o cenário futuro. Note-se que se estas culturas tivessem sido utilizadas no passado, as necessidades calculadas constituiriam uma estimativa das extrações de águas subterrâneas do passado.

Consideraram-se as seguintes culturas-tipo:

- culturas de outono/inverno: couve portuguesa e couve-brócolo
- culturas de primavera/verão: batata; batata-doce; milho
- cultura anual: salsa

O Quadro 10.13 mostra os parâmetros caracterizadores de cada cultura-tipo, de acordo com Allen *et al.* (1998) e Oliveira (2004, 2006), para as culturas sazonais.

Os parâmetros relativos à salsa (cultura anual) foram adaptados de Pereira *et al.* (2024), assumindo uma condição teórica de que a salsa se desenvolve durante o ano inteiro (sabendo-se que tem vários ciclos anuais de corte e cultura). Os resultados para a salsa servem como valores maximalistas indicativos para este tipo de cultura. Os coeficientes culturais padrão indicativos, assim como outros parâmetros necessários para o cálculo da evapotranspiração real, referidos por Pereira *et al.* (2024), com base na análise dos trabalhos de outros autores, mas ainda sujeitos a estudos mais completos, são os seguintes: Kc ini = 0,60, Kc med = 1,00, Kc fim = 0,90, h_cult = 0,30–0,45, rp_1 = 300–500, sld = 0,30 e fraccao = 0,80. Os parâmetros têm o mesmo significado que o apresentado no Quadro 6.7. No caso dos coeficientes culturais (Kc), há uma diferença em relação ao quadro, pois este apresenta os coeficientes culturais basais (Kcb). Adotando o procedimento de Allen *et al.* (1998), considera-se que Kcb = Kc – 0,05. Não há qualquer indicação relativamente aos períodos de desenvolvimento da salsa em Pereira *et al.* (2024). Para a corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD, que apenas admite um ciclo vegetativo por ano hidrológico, considerou-se então a situação teórica referida no início deste parágrafo, com os parâmetros expostos no Quadro 10.13.

Quadro 10.13 – Parâmetros caracterizadores de cada cultura

cultura	Permeável	Calcula Kcb_esp	Dia_ini	L_ini	L_des	L_med	L_fim	Kcb_ini	Kcb_med	Kcb_fim	h_cult	rp_1	rp_0	sld_	Kc_min	Kcb_tot	fraccao	fraccao_0	fraccao_nada
Couve portuguesa	1	0	1	40	60	50	15	0,15	0,95	0,85	1,0	800	150	0,45	0,15	0,95	1,0	0,1	0
Couve-brócolo	1	0	1	35	45	40	15	0,15	0,95	0,85	0,3	500	150	0,45	0,15	0,95	1,0	0,1	0
Batata	1	0	183	30	35	50	30	0,15	1,10	0,65	0,6	500	150	0,35	0,15	1,10	1,0	0,1	0
Batata-doce	1	0	183	20	30	60	40	0,15	1,10	0,55	0,4	1250	150	0,65	0,15	1,10	1,0	0,1	0
Milho	1	0	183	30	40	50	30	0,15	1,15	0,15	2,0	1200	150	0,55	0,15	1,15	1,0	0,1	0
Salsa	1	0	1	1	1	361	2	0,95	0,95	0,95	0,4	400	150	0,30	0,15	0,95	1,0	1,0	1,0

Para a fração do solo descoberto é sempre **rp_1 (3) = 150** e **sld_ (3) = 0,42.**

Significado das colunas: Permeável= código para a infiltração superficial: (0) é nula, (1) calculada pelo modelo, Calcula_Kcb_esp=código para calcular (1) ou não (0) o coeficiente cultural basal esparso, Dia_ini=dia de início de desenvolvimento da cultura, L= comprimento (d): L_ini= da fase inicial, L_des= da fase de desenvolvimento, L_med= da meia estação, L_fim= da fase final, Kcb=coeficiente cultural basal: Kcb_ini=da fase inicial, Kcb_med=da meia estação, Kcb_fim= da fase final, h_cult=altura da cultura na fase de meia estação (m), rp_1=profundidade máxima das raízes das plantas (mm), rp_0=profundidade mínima das raízes das plantas (mm), sld=limite de depleção da água do solo a 100%, Kc_min=coeficiente cultural mínimo, Kcb_tot= coeficiente cultural basal total, fraccao=fração máxima de terreno ocupada pela cultura, fraccao_0=fração mínima de terreno ocupada pela cultura no período inicial.

Para a caracterização das necessidades de água foi considerada a área do Agroparque das Terras da Costa, que é ligeiramente modificada relativamente à utilizada nos cálculos anteriores (com a designação de (área agrícola das) Terras da Costa), apresentando-se na Figura 10.20 o seu contorno e os solos presentes. A área do Agroparque, já descontada das sebes e dos caminhos, tem uma extensão de 1,62 km^2 (1619881 m^2). Os parâmetros dos solos presentes são os mesmos que os utilizados no Quadro 6.4, reproduzindo-se as suas propriedades, necessárias à corrida do modelo BALSEQ_MOD, no Quadro 10.14.

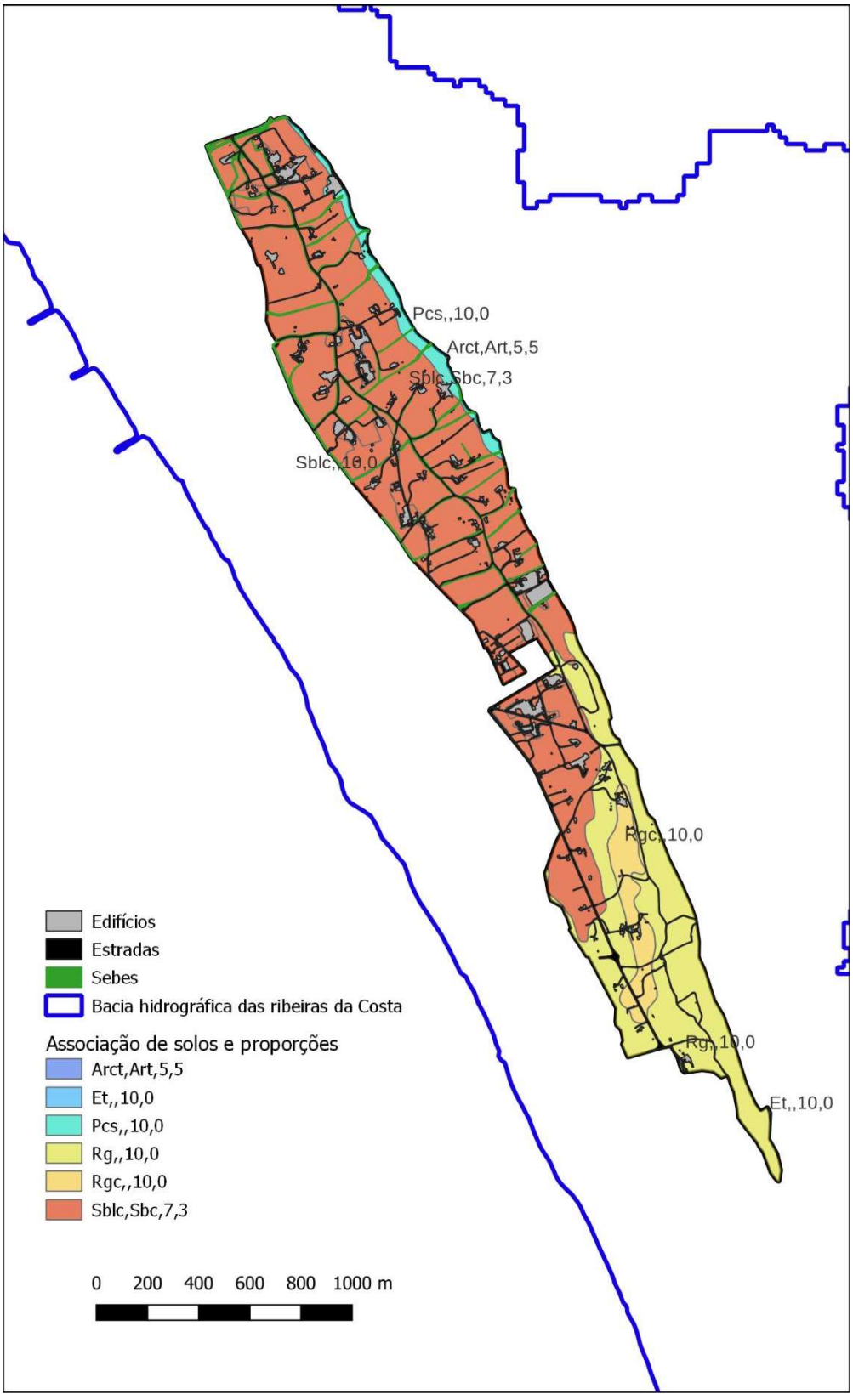


Figura 10.20 – Associações de solos utilizadas no cálculo da recarga da área do Agroparque

Quadro 10.14 – Caracterização dos parâmetros dependentes dos solos para a corrida do modelo de balanço hídrico na área do Agroparque

SROA	fc	wp	fi	Ks_mm_d	solo_sup
Arct	0,05	0,02	0,15	0,1	5
Art	0,05	0,02	0,15	0,1	5
Et	0,30	0,16	0,48	354,3	2
Pcs	0,30	0,06	0,45	433	6
Rg	0,09	0,04	0,44	5040	1
Rgc	0,15	0,07	0,44	5040	1
Sbc	0,31	0,16	0,50	316,8	11
Sblc	0,13	0,05	0,41	548,8	2

fc = porosidade eficaz, wp = ponto de emurchecimento permanente, fi = porosidade, Ks = condutividade hidráulica vertical e solo_sup = código do material do horizonte superior do solo (1-arenoso, 2-arenoso franco, 5-argiloso, 6-franco, 11-franco limoso).
Origem: Oliveira (2004).

Nas subsecções seguintes apresentam-se as necessidades de água para cada cultura, considerando que toda a extensão da área do Agroparque é plantada com a mesma cultura. São também apresentados os valores de evapotranspirações potencial e real que estiveram na base do cálculo das necessidades. Contudo, os valores de evapotranspiração e das necessidades não são comparáveis diretamente, pois enquanto as necessidades se expressam em termos da área total do Agroparque, os valores das evapotranspirações referem-se apenas à área onde ocorre a cultura, e esta, durante a fase inicial e de crescimento ocupa uma área muito inferior à área total do Agroparque (tempos dados por *L_ini*, durante o qual a fração do terreno ocupada pela cultura é dada por *fraccao_0*, e *L_des*, durante o qual a fração de terreno ocupada pela cultura varia proporcionalmente ao tempo entre *fraccao_0* e *fraccao*; estas variáveis são caracterizadas no Quadro 10.13).

Assumindo que as necessidades são completamente colmatadas com a extração de água subterrânea, e uma eficiência de rega de 100 %, i.e., toda a água de rega é utilizada pela planta, não ocorrendo perdas, estas necessidades são uma estimativa das extrações de águas subterrâneas. Nas mesmas subsecções são comparadas as extrações com os valores de recarga que ocorrem na mesma área do Agroparque, verificando-se qual a percentagem das necessidades que pode ser satisfeita com a recarga aí ocorrida. De recordar que a área do sistema aquífero onde se situa a área do Agroparque é muito mais extensa, podendo os valores ser confrontados com os valores globais de recarga, como ordem de grandeza, pois a cultura considerada foi diferente da atual, que ocorrem na área da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa (área de 20,34 km^2) apresentados na secção 8 | deste relatório, ou seja, 3883 dam^3/ano, no caso da série temporal passada, e os apresentados na secção 10.2.4.2, ou seja, 3566 dam^3/ano, no caso da série temporal futura.

10.3.2 Série temporal de 1983/10/01 a 2023/09/30

10.3.2.1 Couve portuguesa

As necessidades anuais médias calculadas para a couve portuguesa foram de 13 mm/ano, sendo o valor mínimo de 2 mm/ano e o valor máximo de 46 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi calculada em 262 mm/ano e a evapotranspiração real média em 186 mm/ano. A recarga anual média foi calculada em 331 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse couve portuguesa, a recarga que

ocorre na mesma área de produção seria sobejamente suficiente para satisfazer as necessidades. Durante os períodos iniciais e de desenvolvimento da cultura em análise, primeiros 100 dias do ano hidrológico (ver Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se a frações de terreno diferentes das das necessidades e da recarga, reportando-se estas últimas à totalidade da área do terreno.

A Figura 10.21 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.22 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.15 mostra a evolução mensal das necessidades de água. Sendo a couve portuguesa uma cultura de outono-inverno, a partir de abril os valores das necessidades e das evapotranspirações são nulos.

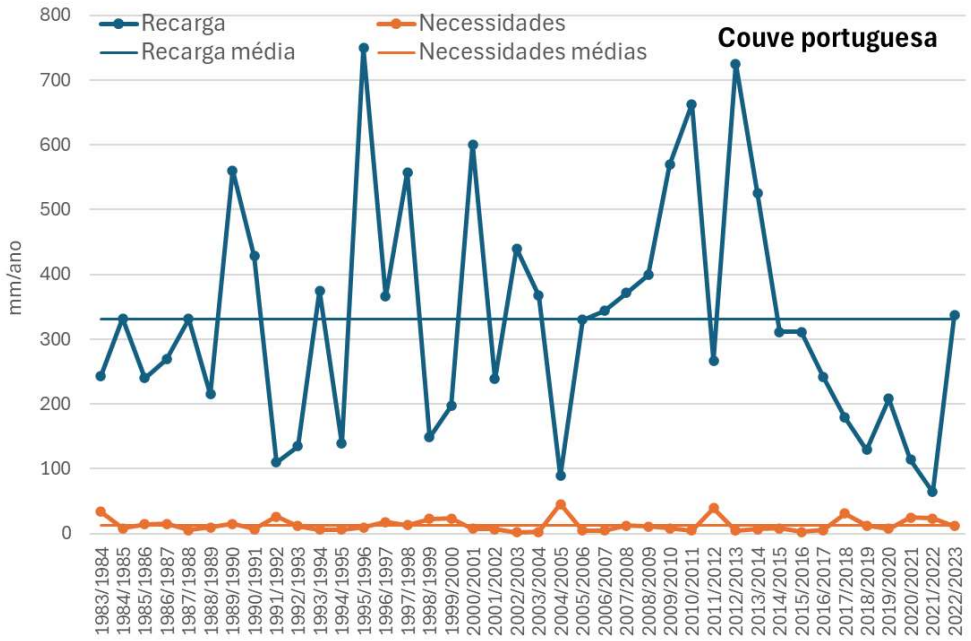


Figura 10.21 – Necessidades e recarga calculadas para a couve portuguesa no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23

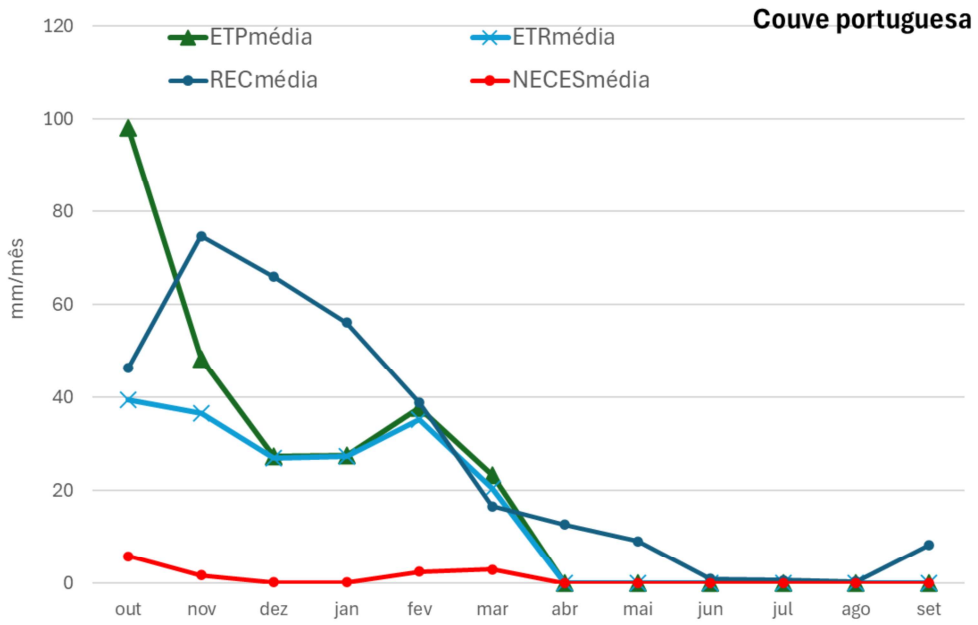


Figura 10.22 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para a couve portuguesa no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 100 dias do ano hidrológico)

Quadro 10.15 – Valores mensais e anuais das necessidades de água da couve portuguesa para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m³/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
1983/84	11,1	0,1	0,3	0,0	7,5	14,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,6
1984/85	7,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5
1985/86	13,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,6
1986/87	9,9	3,3	1,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,9
1987/88	3,5	1,8	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8
1988/89	7,2	0,8	0,4	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5
1989/90	6,8	2,8	0,0	0,0	3,2	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,3
1990/91	4,7	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7
1991/92	6,5	4,1	0,0	0,0	3,6	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,1
1992/93	5,1	3,8	0,0	0,9	0,5	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,6
1993/94	3,7	1,7	0,4	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3
1994/95	4,6	1,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3
1995/96	8,7	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5
1996/97	7,9	2,3	0,0	0,0	1,7	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,7
1997/98	5,2	0,1	0,0	0,0	0,4	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9
1998/99	7,9	5,0	3,3	0,0	2,2	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0
1999/00	5,5	3,9	0,0	0,0	3,0	10,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,4
2000/01	7,4	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7
2001/02	0,7	4,8	0,3	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0
2002/03	1,2	0,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9
2003/04	2,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6
2004/05	4,7	2,4	0,0	3,1	19,7	15,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,7
2005/06	4,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7
2006/07	2,9	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7
2007/08	7,4	4,5	0,4	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,4
2008/09	6,3	3,3	0,0	0,0	0,1	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8
2009/10	6,7	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1
2010/11	4,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9
2011/12	8,5	0,1	0,0	0,0	16,5	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,2
2012/13	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7
2013/14	4,0	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8
2014/15	5,3	0,6	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4
2015/16	1,9	0,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
2016/17	4,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5
2017/18	8,2	2,9	0,0	2,2	17,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,3
2018/19	7,8	0,0	0,0	0,0	1,7	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5
2019/20	4,9	0,1	0,0	0,0	0,2	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5
2020/21	5,5	0,9	0,0	0,4	7,1	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,8
2021/22	7,2	2,3	0,8	0,2	9,3	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,5
2022/23	4,6	0,1	0,0	0,0	3,5	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8
Média	**5,9**	**1,7**	**0,2**	**0,2**	**2,5**	**3,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**13,4**

10.3.2.2 Couve-brócolo

As necessidades anuais médias calculadas para a couve-brócolo foram de 10 mm/ano, sendo o valor mínimo de 2 mm/ano e o valor máximo de 28 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi calculada em 209 mm/ano e a evapotranspiração real média em 139 mm/ano. A recarga anual média foi calculada em 347 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse couve-brócolo, a recarga que ocorre na mesma área de produção seria sobejamente suficiente para satisfazer as necessidades. Durante os períodos iniciais e de desenvolvimento da cultura em análise, primeiros 80 dias do ano hidrológico (ver

Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se a frações de terreno diferentes das das necessidades e da recarga, reportando-se estas últimas à totalidade da área do terreno.

A Figura 10.23 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.24 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.16 mostra a evolução mensal das necessidades de água. Sendo a couve-brócolo uma cultura de outono-inverno, a partir de meio de fevereiro os valores das necessidades e das evapotranspirações são nulos.

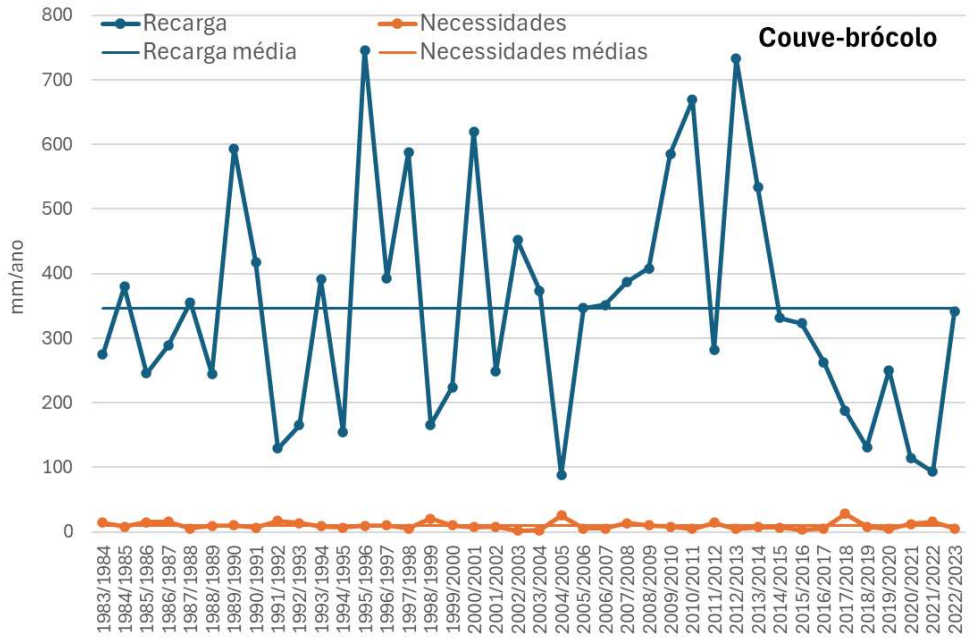


Figura 10.23 – Necessidades e recarga calculadas para a couve-brócolo no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23

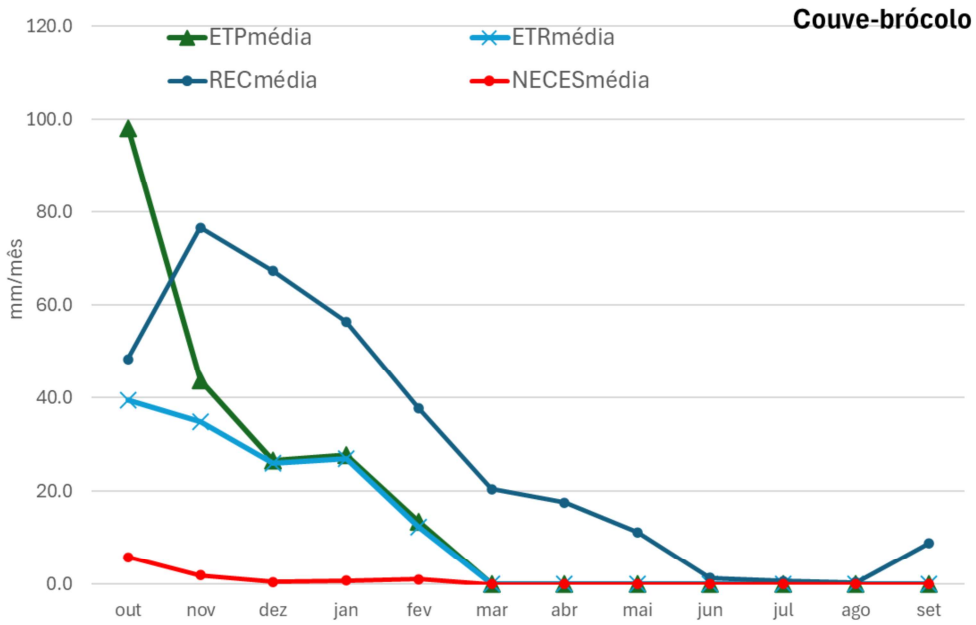


Figura 10.24 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para a couve-brócolo no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 80 dias do ano hidrológico)

Quadro 10.16 – Valores mensais e anuais das necessidades de água da couve-brócolo para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m³/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
1983/84	11,1	0,1	0,5	0,8	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,4
1984/85	7,6	0,7	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4
1985/86	13,0	1,6	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0
1986/87	9,9	3,7	1,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8
1987/88	3,5	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7
1988/89	7,2	0,9	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4
1989/90	6,8	3,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2
1990/91	4,7	2,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9
1991/92	6,5	4,9	0,0	1,1	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2
1992/93	5,1	4,4	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,6
1993/94	3,7	2,1	2,4	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1
1994/95	4,6	1,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6
1995/96	8,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4
1996/97	7,9	2,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5
1997/98	5,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3
1998/99	7,9	6,3	6,3	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,9
1999/00	5,5	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6
2000/01	7,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4
2001/02	0,7	6,5	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1
2002/03	1,2	0,4	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2
2003/04	2,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5
2004/05	4,7	3,0	0,2	9,4	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,3
2005/06	4,2	0,4	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2
2006/07	2,9	1,9	0,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7
2007/08	7,4	5,3	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7
2008/09	6,3	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6
2009/10	6,7	1,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1
2010/11	4,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8
2011/12	8,5	0,1	0,0	0,3	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,5
2012/13	4,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8
2013/14	4,0	3,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6
2014/15	5,3	0,6	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6
2015/16	1,9	0,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6
2016/17	4,9	0,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7
2017/18	8,2	3,4	0,0	6,9	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,4
2018/19	7,8	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3
2019/20	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9
2020/21	5,5	0,8	0,0	2,7	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6
2021/22	7,2	2,2	0,5	1,2	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7
2022/23	4,6	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8
Média	**5,9**	**1,9**	**0,4**	**0,8**	**1,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**10,0**

10.3.2.3 Batata

As necessidades anuais médias calculadas para a batata foram de 404 mm/ano, sendo o valor mínimo de 235 mm/ano e o valor máximo de 543 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi calculada em 669 mm/ano e a evapotranspiração real média em 138 mm/ano. A recarga anual média foi calculada em 315 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse batata, a recarga que ocorre na mesma área de produção seria insuficiente para satisfazer as necessidades de água. Durante os períodos iniciais e de desenvolvimento da cultura em análise, primeiros 65 dias da cultura, iniciada em abril (ver

Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se a frações de terreno diferentes das das necessidades e da recarga, reportando-se estas últimas à totalidade da área do terreno.

A Figura 10.25 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.26 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.17 mostra a evolução mensal das necessidades de água. Sendo a batata uma cultura de primavera-verão, até ao final de março e em setembro os valores das necessidades e das evapotranspirações são nulos.

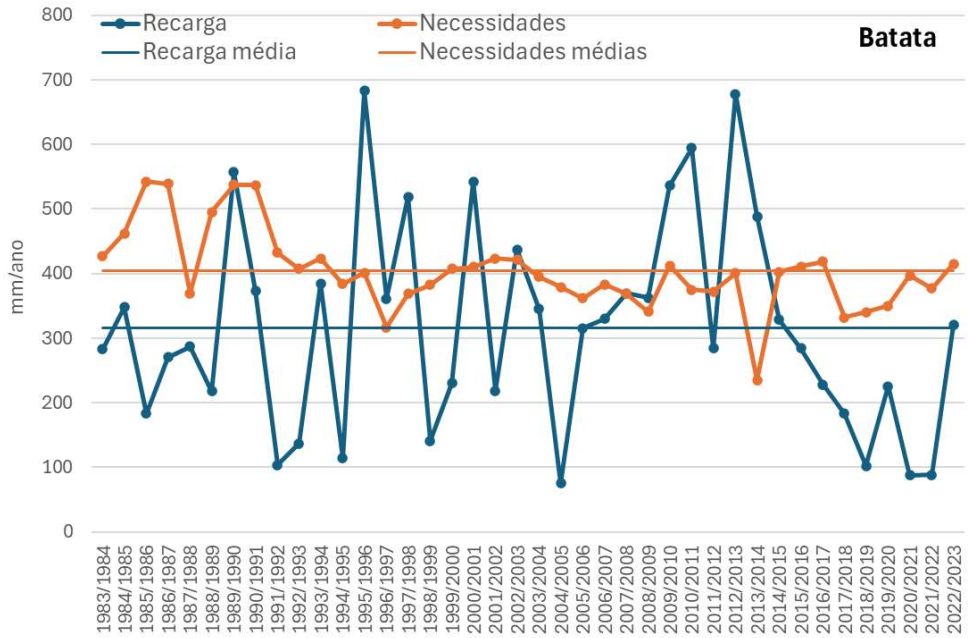


Figura 10.25 – Necessidades e recarga calculadas para a batata no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23

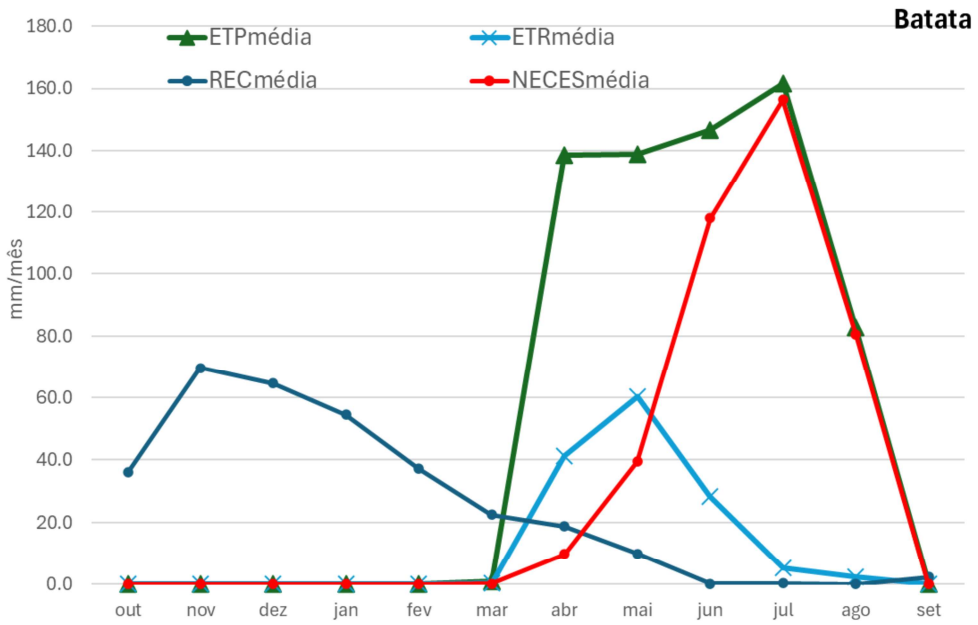


Figura 10.26 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para a batata no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 65 dias de início e desenvolvimento da cultura)

Quadro 10.17 – Valores mensais e anuais das necessidades de água da batata para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m³/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
1983/84	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	12,3	23,9	112,5	183,3	94,8	0,0	427,1
1984/85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	32,5	129,6	182,6	109,0	0,0	462,1
1985/86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	63,9	165,4	204,3	98,4	0,0	542,7
1986/87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	63,0	171,7	191,6	102,1	0,0	539,2
1987/88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	10,5	45,0	76,2	136,0	101,4	0,0	369,6
1988/89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	37,2	160,6	199,4	91,4	0,0	495,2
1989/90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	65,4	154,7	203,7	104,1	0,0	537,4
1990/91	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	60,7	169,5	191,2	102,5	0,0	536,8
1991/92	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	49,1	90,4	187,7	91,5	0,0	432,2
1992/93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	12,8	119,4	178,9	88,3	0,0	407,5
1993/94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	17,5	140,1	167,8	86,2	0,0	423,7
1994/95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	27,4	112,1	155,0	79,4	0,0	384,1
1995/96	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	11,6	23,0	138,8	156,1	71,5	0,0	401,3
1996/97	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	19,2	75,1	136,2	75,3	0,0	317,1
1997/98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	32,3	94,7	154,3	81,1	0,0	368,6
1998/99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	27,9	129,8	154,0	59,1	0,0	382,7
1999/00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	4,2	41,9	137,9	146,9	76,2	0,0	407,4
2000/01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,2	34,5	130,2	153,1	79,6	0,0	410,6
2001/02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4	42,7	125,4	160,3	83,3	0,0	423,2
2002/03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	60,3	129,5	145,9	79,8	0,0	421,5
2003/04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4	43,8	137,9	156,4	46,3	0,0	394,8
2004/05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	40,5	119,4	133,1	75,8	0,0	379,0
2005/06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	50,9	84,3	140,6	77,6	0,0	361,6
2006/07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	35,0	92,9	160,2	83,6	0,0	383,4
2007/08	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	7,4	14,0	127,4	147,3	72,2	0,0	368,6
2008/09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	43,5	98,1	125,0	66,9	0,0	341,1
2009/10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	47,0	111,1	172,3	71,9	0,0	412,4
2010/11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	32,8	107,6	153,9	68,7	0,0	375,2
2011/12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	38,4	109,2	147,8	70,3	0,0	372,0
2012/13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	38,8	119,2	149,7	82,7	0,0	400,7
2013/14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	21,8	47,9	91,6	66,8	0,0	235,0
2014/15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	60,6	107,3	150,7	75,5	0,0	402,9
2015/16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	6,7	27,2	131,2	163,9	81,8	0,0	411,0
2016/17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	38,3	130,4	147,8	86,9	0,0	418,7
2017/18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	39,8	85,0	117,5	84,5	0,0	331,8
2018/19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9	48,6	99,6	116,9	64,2	0,0	340,2
2019/20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,1	34,8	109,0	144,6	58,7	0,0	350,4
2020/21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	48,7	114,5	143,9	78,5	0,0	397,0
2021/22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	45,8	108,7	144,3	68,1	0,0	377,1
2022/23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,6	47,2	112,6	158,4	82,4	0,0	415,2
Média	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,1**	**9,7**	**39,4**	**117,9**	**156,4**	**80,5**	**0,0**	**404,0**

10.3.2.4 Batata-doce

As necessidades anuais médias calculadas para a batata-doce foram de 370 mm/ano, sendo o valor mínimo de 198 mm/ano e o valor máximo de 528 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi calculada em 657 mm/ano e a evapotranspiração real média em 225 mm/ano. A recarga anual média foi calculada em 246 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse batata-doce, a recarga que ocorre na mesma área de produção seria insuficiente para satisfazer as necessidades de água. Durante os períodos iniciais e de desenvolvimento da cultura em análise, primeiros 50 dias da cultura, iniciada em

abril (ver Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se a frações de terreno diferentes das das necessidades e da recarga, reportando-se estas últimas à totalidade da área do terreno.

A Figura 10.27 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.28 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.18 mostra a evolução mensal das necessidades de água. Sendo a batata-doce uma cultura de primavera-verão, até ao final de março e em setembro os valores das necessidades e das evapotranspirações são nulos.

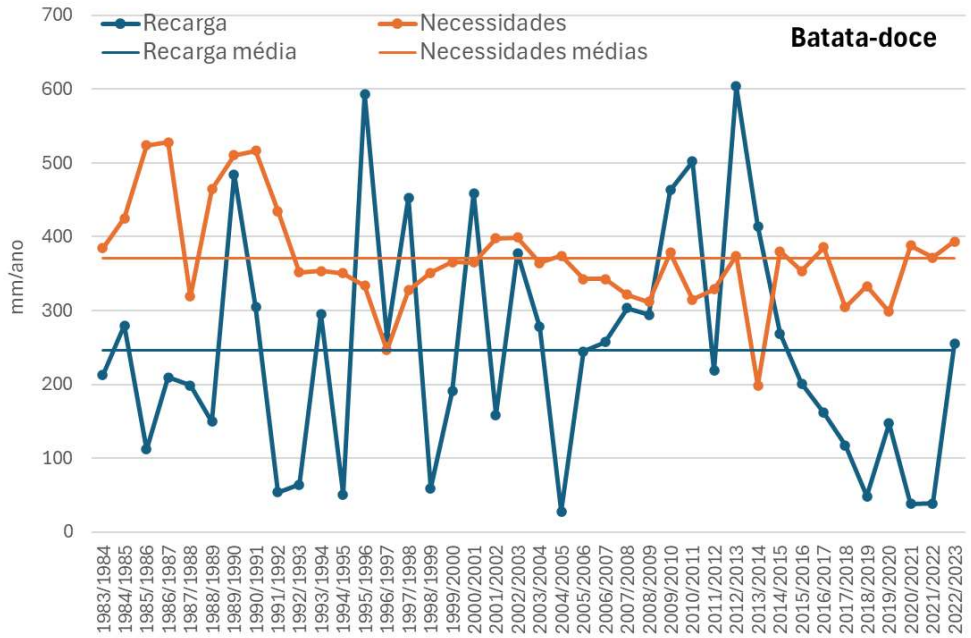


Figura 10.27 – Necessidades e recarga calculadas para a batata-doce no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23

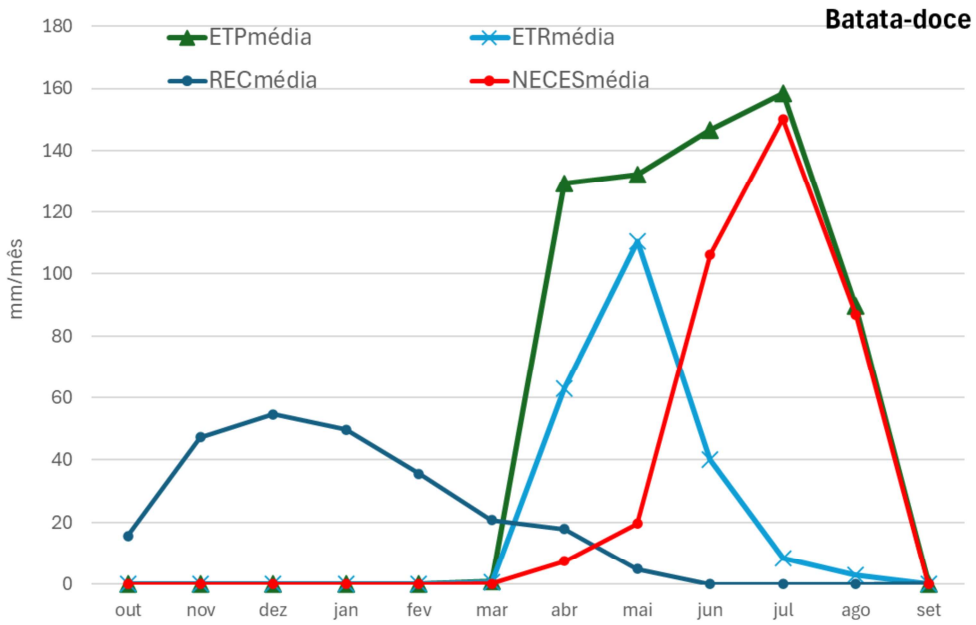


Figura 10.28 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para a batata-doce no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 50 dias de início e desenvolvimento da cultura)

Quadro 10.18 – Valores mensais e anuais das necessidades de água da batata-doce para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m³/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
1983/84	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	10,1	3,7	93,2	175,9	101,7	0,0	384,7
1984/85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	10,0	114,5	175,7	118,0	0,0	424,8
1985/86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	43,4	167,4	199,1	105,8	0,0	523,7
1986/87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	47,8	173,0	186,7	112,2	0,0	527,7
1987/88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	7,7	16,0	67,5	117,3	109,9	0,0	318,9
1988/89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	19,7	151,0	194,1	95,4	0,0	464,4
1989/90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	40,3	152,2	198,5	111,5	0,0	510,4
1990/91	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	44,8	169,1	186,3	105,3	0,0	516,3
1991/92	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	45,6	92,6	182,1	101,3	0,0	434,5
1992/93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	0,9	76,6	172,5	94,5	0,0	351,8
1993/94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	4,6	87,0	157,9	94,9	0,0	353,8
1994/95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	4,0	99,1	150,7	88,0	0,0	350,4
1995/96	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	8,4	0,8	98,7	147,8	77,7	0,0	333,6
1996/97	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	3,3	33,5	121,6	79,5	0,0	246,4
1997/98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	10,2	79,7	146,8	87,5	0,0	327,6
1998/99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	4,8	118,9	150,8	66,3	0,0	350,9
1999/00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	2,0	14,2	125,5	143,0	80,7	0,0	365,8
2000/01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4	9,4	114,6	147,0	83,8	0,0	365,1
2001/02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	22,0	121,5	155,8	89,3	0,0	398,0
2002/03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	37,8	129,9	142,3	84,3	0,0	398,8
2003/04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	22,2	130,0	150,5	54,8	0,0	364,5
2004/05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	26,9	124,5	132,5	82,0	0,0	373,9
2005/06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	30,6	84,1	134,8	87,6	0,0	342,8
2006/07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	10,7	82,3	152,1	88,6	0,0	342,5
2007/08	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	4,7	2,3	96,5	140,0	77,6	0,0	321,3
2008/09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	21,7	93,5	119,3	71,9	0,0	311,5
2009/10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	23,6	104,5	165,4	77,3	0,0	378,2
2010/11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	7,6	77,1	144,5	75,4	0,0	314,9
2011/12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	11,2	94,4	141,7	76,6	0,0	328,7
2012/13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	18,7	113,0	145,8	88,8	0,0	374,4
2013/14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,2	36,2	81,8	72,1	0,0	198,3
2014/15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	37,3	108,4	146,8	80,4	0,0	380,2
2015/16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,7	5,2	100,6	155,8	88,1	0,0	353,6
2016/17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	15,9	122,6	142,7	91,7	0,0	385,8
2017/18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	18,6	80,7	112,1	90,4	0,0	304,4
2018/19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	32,6	105,8	116,5	69,4	0,0	332,9
2019/20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	5,7	88,6	138,2	65,6	0,0	298,7
2020/21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	36,3	120,0	140,9	81,8	0,0	388,1
2021/22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	36,6	113,5	140,6	73,1	0,0	371,6
2022/23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9	30,1	109,3	153,2	89,1	0,0	393,6
Média	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**7,4**	**19,5**	**106,3**	**150,2**	**86,7**	**0,0**	**370,2**

10.3.2.5 Milho

As necessidades anuais médias calculadas para o milho foram de 343 mm/ano, sendo o valor mínimo de 171 mm/ano e o valor máximo de 485 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi calculada em 680 mm/ano e a evapotranspiração real média em 224 mm/ano. A recarga anual média foi calculada em 255 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse milho, a recarga que ocorre na mesma área de produção seria insuficiente para satisfazer as necessidades de água. Durante os períodos iniciais e de desenvolvimento da cultura em análise, primeiros 70 dias da cultura, iniciada em abril (ver

Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se a frações de terreno diferentes das das necessidades e da recarga, reportando-se estas últimas à totalidade da área do terreno.

A Figura 10.29 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.30 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.19 mostra a evolução mensal das necessidades de água. Sendo o milho uma cultura de primavera-verão, até ao final de março e em setembro os valores das necessidades e das evapotranspirações são nulos.

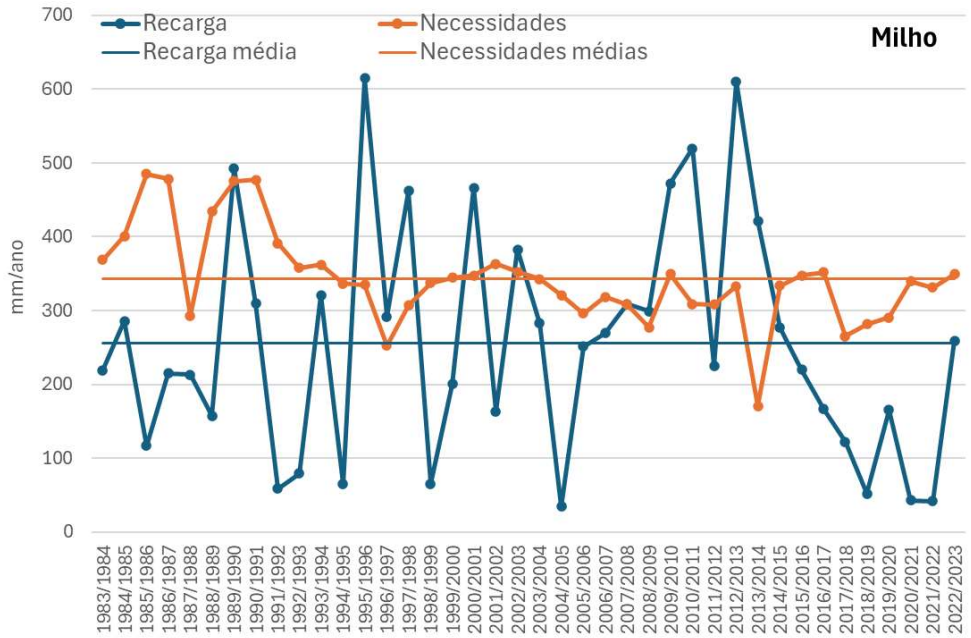


Figura 10.29 – Necessidades e recarga calculadas para o milho no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23

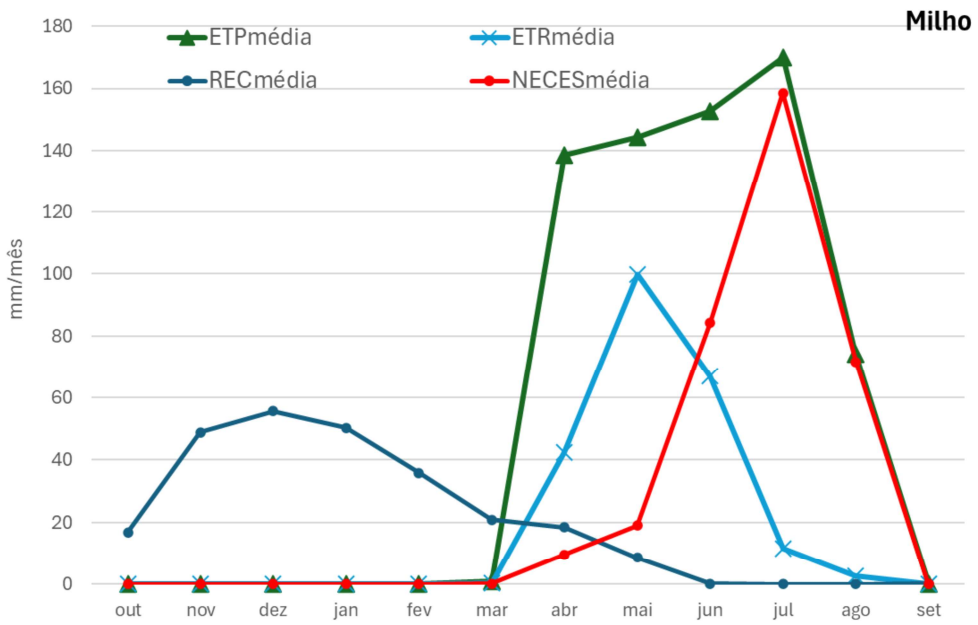


Figura 10.30 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para o milho no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 70 dias de início e desenvolvimento da cultura)

Quadro 10.19 – Valores mensais e anuais das necessidades de água do milho para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m³/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
1983/84	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	12,1	8,7	77,1	187,4	83,5	0,0	369,0
1984/85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	14,0	94,5	187,9	96,3	0,0	400,9
1985/86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	36,3	136,2	213,4	88,3	0,0	484,9
1986/87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	36,1	138,9	200,3	92,2	0,0	478,4
1987/88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	10,3	19,1	49,4	127,1	86,6	0,0	292,9
1988/89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	21,0	120,7	206,4	79,5	0,0	434,2
1989/90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2	37,3	122,5	211,9	94,6	0,0	475,5
1990/91	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	34,8	137,1	200,6	91,4	0,0	476,9
1991/92	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	32,7	67,7	194,2	83,0	0,0	391,0
1992/93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	5,2	81,4	184,5	78,8	0,0	357,9
1993/94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	7,2	93,4	171,7	77,4	0,0	362,0
1994/95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	11,2	84,2	159,2	71,7	0,0	336,3
1995/96	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	11,5	4,0	97,4	158,1	63,4	0,0	334,6
1996/97	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	8,0	36,8	130,4	65,9	0,0	252,3
1997/98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	12,1	62,3	154,0	72,4	0,0	306,8
1998/99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,7	10,4	101,0	159,3	55,2	0,0	337,4
1999/00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	4,0	17,6	104,6	151,8	66,5	0,0	344,7
2000/01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,2	11,7	94,7	155,9	71,8	0,0	347,3
2001/02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	19,5	92,8	164,7	75,0	0,0	363,4
2002/03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	33,7	94,6	148,1	70,2	0,0	352,3
2003/04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	19,8	104,3	161,4	46,6	0,0	342,3
2004/05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	21,7	89,8	133,2	66,1	0,0	321,1
2005/06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	25,9	53,7	138,2	70,2	0,0	296,2
2006/07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,7	15,3	58,8	159,8	72,6	0,0	318,2
2007/08	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	7,1	6,0	82,4	147,7	64,6	0,0	308,2
2008/09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	19,6	67,4	124,4	58,5	0,0	277,4
2009/10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	21,7	77,5	174,6	65,4	0,0	349,2
2010/11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	14,1	65,3	154,3	62,8	0,0	308,7
2011/12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	14,4	75,8	148,2	63,4	0,0	308,0
2012/13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	16,7	82,9	150,6	72,5	0,0	332,8
2013/14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	9,5	17,8	80,2	56,7	0,0	170,9
2014/15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	33,1	74,5	150,3	66,7	0,0	333,3
2015/16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	6,5	8,3	93,6	166,7	72,3	0,0	347,6
2016/17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	15,9	95,0	150,3	75,5	0,0	351,8
2017/18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	19,2	52,4	114,7	74,1	0,0	265,2
2018/19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9	25,8	72,8	116,7	55,3	0,0	281,6
2019/20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2,7	11,8	74,7	146,6	54,7	0,0	290,6
2020/21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	28,2	86,9	145,2	68,3	0,0	339,9
2021/22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	28,4	84,4	147,6	60,6	0,0	331,1
2022/23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,6	24,1	77,4	159,5	73,8	0,0	349,5
Média	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**9,6**	**19,0**	**84,4**	**158,4**	**71,6**	**0,0**	**343,1**

10.3.2.6 Salsa

Para o cálculo das necessidades anuais médias para a salsa, como referido na secção 10.3.1, por limitação do programa BALSEQ_MOD disponível, assumiu-se que esta se desenvolve durante todo o ano, não sendo sujeita a cortes e apresentando um coeficiente cultural constante, como se estivesse permanentemente em período de meia estação. Esta é uma assunção puramente teórica, que estima as necessidades de uma forma maximalista.

As necessidades calculadas foram de 600 mm/ano, sendo o valor mínimo de 353 mm/ano e o valor máximo de 787 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi calculada em 928 mm/ano e a evapotranspiração real média em 328 mm/ano. A recarga anual média foi calculada em 334 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse salsa em toda a área, a recarga que ocorre nessa mesma área de produção seria insuficiente para satisfazer as necessidades. Ao contrário das culturas referidas nas outras secções (ver Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se às mesmas frações de terreno das necessidades e da recarga, ou seja, a totalidade da área do terreno.

A Figura 10.31 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.32 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.20 mostra a evolução mensal das necessidades de água.

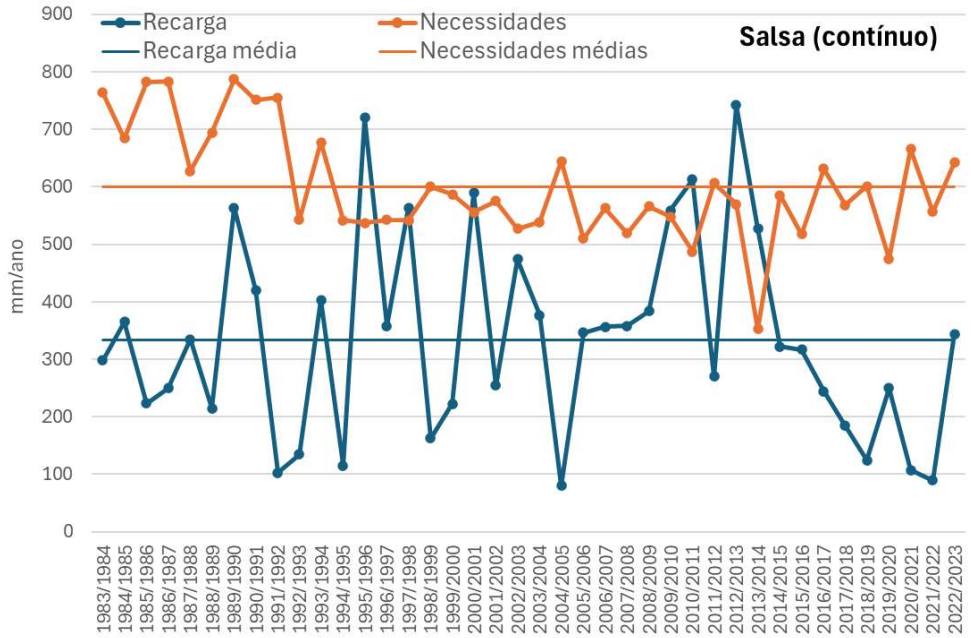


Figura 10.31 – Necessidades e recarga calculadas para uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23

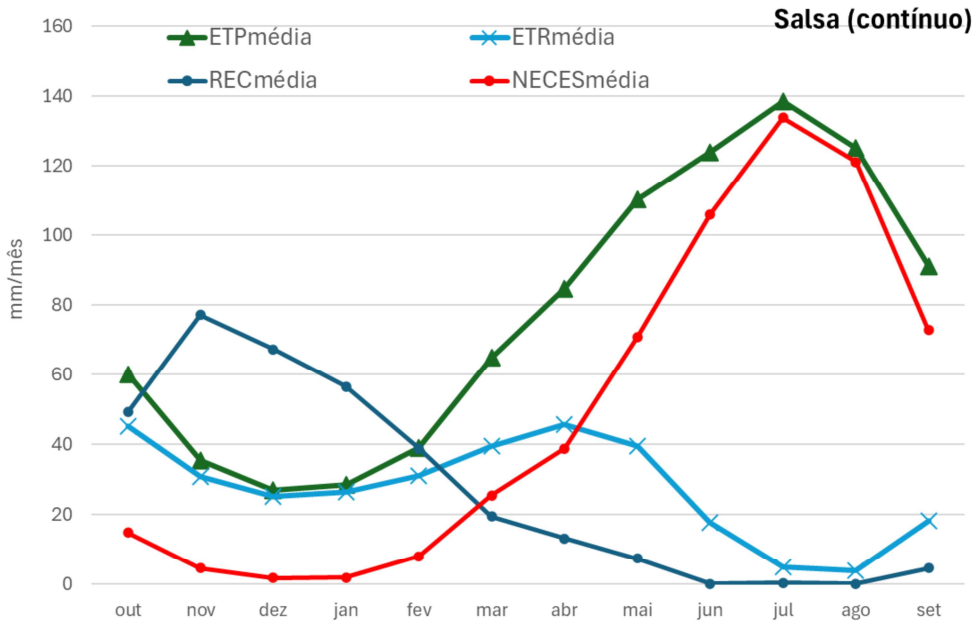


Figura 10.32 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, calculadas para uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo, no período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (Nota: todos os processos estão representados considerando que a cultura ocupa sempre a totalidade da área)

Quadro 10.20 – Valores mensais e anuais das necessidades de água de uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo para o período entre o ano hidrológico de 1983/84 e 2022/23 (unidades: mm; para obter m³/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
1983/84	71,0	0,7	2,3	3,7	21,9	33,4	55,5	52,9	98,2	158,5	148,8	116,8	763,6
1984/85	20,3	1,6	0,5	0,5	0,6	30,8	25,6	55,4	115,1	157,2	161,7	115,0	684,2
1985/86	60,6	5,3	0,1	2,3	0,0	23,0	58,1	108,2	148,9	174,8	146,0	55,1	782,4
1986/87	29,9	14,2	3,7	2,1	0,0	28,3	38,0	123,7	155,6	164,3	143,0	80,5	783,4
1987/88	0,0	3,0	0,2	0,2	0,3	47,5	50,5	63,1	66,4	117,1	159,1	119,6	627,1
1988/89	21,4	0,8	4,0	1,1	2,3	34,2	11,9	80,2	143,7	171,8	131,6	90,9	694,1
1989/90	15,7	5,7	0,0	2,2	15,5	43,3	41,8	95,2	140,2	174,9	153,9	98,5	787,1
1990/91	7,8	1,4	0,0	1,2	0,0	9,7	55,8	119,5	153,7	162,6	137,9	101,9	751,5
1991/92	8,6	14,0	0,7	4,3	16,4	67,3	57,7	109,4	78,4	161,1	143,0	94,4	755,4
1992/93	5,7	8,3	0,5	8,4	6,5	25,1	42,5	16,7	102,0	152,9	129,0	45,3	542,9
1993/94	2,9	3,5	9,2	2,4	0,7	42,0	70,4	43,8	123,1	144,0	132,4	102,8	677,2
1994/95	4,3	2,5	1,3	0,4	0,9	32,2	46,1	36,0	97,8	132,5	124,1	63,8	541,9
1995/96	30,8	0,3	0,0	0,0	0,4	2,3	48,2	28,4	121,8	134,2	113,5	56,8	536,7
1996/97	17,7	11,2	0,1	0,1	12,2	30,9	52,9	46,1	60,0	114,4	109,7	87,4	542,6
1997/98	10,3	0,0	0,0	0,0	7,0	50,8	11,8	56,8	82,6	132,4	121,6	68,3	541,5
1998/99	20,3	23,9	20,0	0,1	13,8	23,0	65,1	34,9	117,1	131,5	97,1	53,5	600,2
1999/00	8,4	9,3	0,0	0,5	15,1	52,1	2,8	49,1	124,1	125,6	116,7	83,6	587,1
2000/01	18,2	0,6	0,0	0,0	4,7	1,2	52,3	55,0	114,6	129,4	114,9	65,1	555,9
2001/02	0,0	13,7	4,8	0,0	10,5	8,9	45,0	88,0	115,5	136,8	123,6	28,5	575,2
2002/03	0,0	0,1	0,0	0,2	5,1	5,5	8,4	92,4	119,1	124,3	108,9	62,7	526,8
2003/04	2,3	0,0	0,0	0,1	1,7	14,7	34,2	79,6	123,8	132,4	84,6	64,8	538,3
2004/05	13,8	4,3	1,3	13,6	30,8	36,1	40,0	82,1	112,9	115,3	114,6	79,3	644,1
2005/06	10,8	0,1	2,0	1,2	0,2	0,9	19,2	94,8	77,6	119,1	122,0	61,8	509,6
2006/07	1,7	2,0	1,3	2,6	0,0	28,4	58,9	59,0	84,4	137,4	120,3	67,0	563,0
2007/08	20,5	22,4	3,0	0,2	4,3	10,9	17,0	38,5	110,6	126,2	110,1	55,7	519,4
2008/09	12,1	8,4	0,1	0,0	3,5	40,6	38,0	86,9	91,3	105,9	103,8	75,4	565,9
2009/10	14,2	1,2	0,0	0,3	0,7	3,0	28,9	75,4	99,2	146,2	107,8	70,7	547,6
2010/11	7,9	0,0	0,0	0,2	0,8	10,0	44,9	44,6	91,3	130,5	105,3	51,8	487,3
2011/12	31,6	0,0	0,2	2,2	33,8	51,2	19,1	48,1	100,6	128,8	113,2	77,6	606,5
2012/13	6,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,4	33,4	84,1	110,3	128,1	122,2	83,0	569,4
2013/14	8,1	5,1	4,7	0,0	0,0	15,3	16,7	54,9	45,4	77,6	105,9	18,8	352,5
2014/15	4,3	1,6	0,3	2,6	1,4	28,3	37,3	96,5	99,0	129,8	110,8	72,9	584,9
2015/16	3,0	1,1	2,5	0,0	0,1	5,0	9,0	39,4	114,0	139,3	125,4	78,7	517,5
2016/17	11,7	0,3	0,2	1,5	2,4	12,1	68,6	73,9	119,4	125,8	122,9	92,9	631,6
2017/18	25,8	11,2	1,7	12,6	30,8	0,4	4,9	75,4	82,4	103,1	125,6	94,2	568,2
2018/19	27,1	0,0	0,5	0,2	12,3	40,9	59,2	92,8	95,0	101,2	100,1	71,6	600,8
2019/20	8,9	0,0	0,0	0,5	5,1	34,7	4,5	48,1	95,2	121,3	98,3	58,3	474,9
2020/21	11,6	0,3	0,0	6,3	18,8	57,0	66,3	103,1	106,9	123,1	110,7	61,1	665,2
2021/22	14,8	3,0	3,5	3,8	22,8	6,7	31,7	94,1	101,9	124,0	103,0	47,1	556,4
2022/23	4,9	0,0	0,0	0,1	15,8	33,3	82,2	104,5	102,8	135,4	123,4	39,5	642,0
Média	**14,9**	**4,5**	**1,7**	**1,9**	**8,0**	**25,5**	**38,9**	**70,8**	**106,0**	**133,8**	**121,2**	**72,8**	**600,0**

10.3.3 Série temporal futura de 2075/10/01 a 2100/09/30

10.3.3.1 Couve portuguesa

As necessidades anuais médias estimadas para a couve portuguesa são de 22 mm/ano, sendo o valor mínimo de 8 mm/ano e o valor máximo de 52 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi estimada em 337 mm/ano e a evapotranspiração real média em 202 mm/ano. A recarga anual média

foi estimada em 297 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse couve portuguesa, a recarga que ocorre na mesma área de produção seria sobejamente suficiente para satisfazer as necessidades. Durante os períodos iniciais e de desenvolvimento da cultura em análise, primeiros 100 dias do ano hidrológico (ver Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se a frações de terreno diferentes das das necessidades e da recarga, reportando-se estas últimas à totalidade da área do terreno.

A Figura 10.33 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.34 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.21 mostra a evolução mensal das necessidades de água. Sendo a couve portuguesa uma cultura de outono-inverno, a partir de abril os valores das necessidades e das evapotranspirações são nulos.

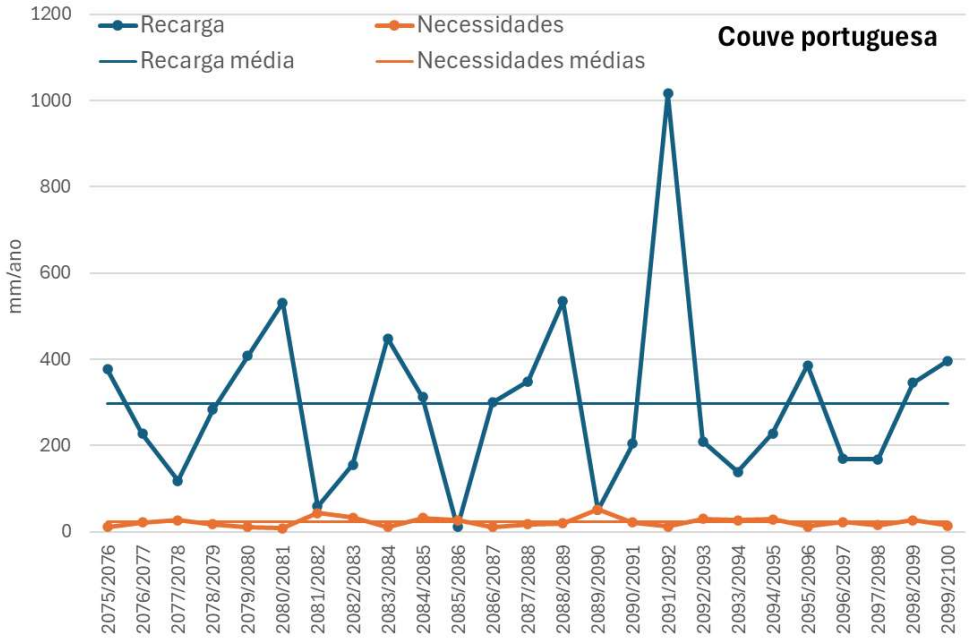


Figura 10.33 – Necessidades e recarga estimadas para a couve portuguesa, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100

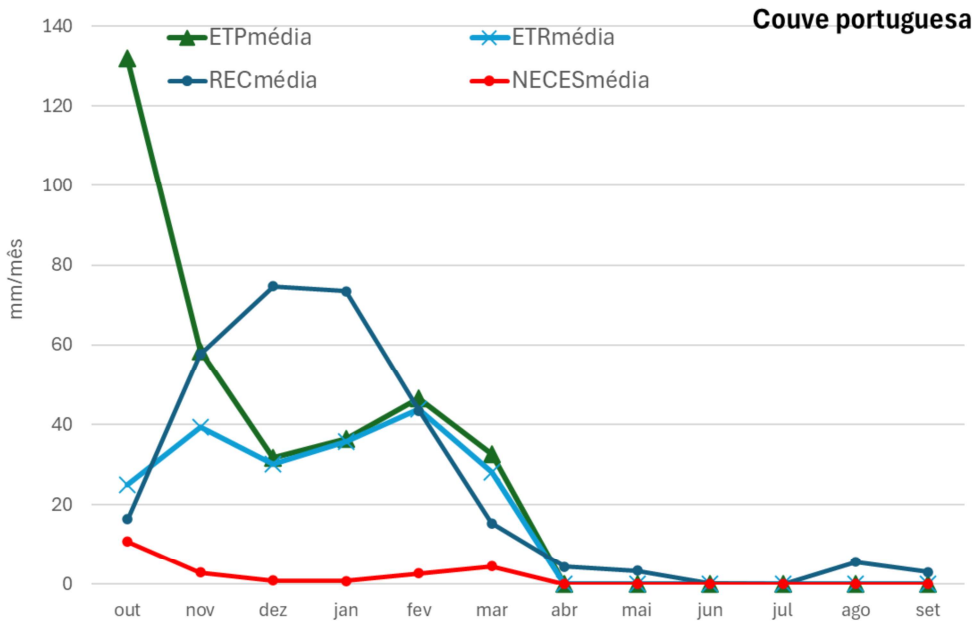


Figura 10.34 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para a couve portuguesa, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 100 dias do ano hidrológico)

Quadro 10.21 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para a couve portuguesa, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m³/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
2075/2076	9,2	1,6	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1
2076/2077	9,8	4,3	2,3	1,2	0,2	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,1
2077/2078	10,4	4,4	2,2	0,3	0,2	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,5
2078/2079	12,2	2,8	0,3	0,9	0,7	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,5
2079/2080	9,6	0,6	0,0	0,0	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2
2080/2081	5,5	1,7	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3
2081/2082	8,4	3,2	6,1	13,1	8,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5
2082/2083	14,7	4,4	0,0	0,0	5,9	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,8
2083/2084	8,9	0,0	0,0	0,0	0,1	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2
2084/2085	11,1	4,6	0,8	0,0	3,9	12,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,4
2085/2086	13,4	2,3	2,8	0,7	1,0	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,8
2086/2087	8,9	1,8	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9
2087/2088	9,2	1,0	0,0	1,3	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8
2088/2089	11,6	0,9	0,5	0,0	0,8	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0
2089/2090	9,9	5,2	0,1	0,0	13,7	22,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,9
2090/2091	11,5	3,2	1,7	0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2
2091/2092	8,9	2,6	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5
2092/2093	14,0	2,5	1,0	0,0	0,6	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,5
2093/2094	12,6	4,7	1,7	0,0	0,2	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,9
2094/2095	9,8	2,3	0,0	0,0	10,3	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,5
2095/2096	11,2	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6
2096/2097	12,7	4,6	1,3	0,6	2,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,1
2097/2098	7,9	2,8	0,0	0,1	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0
2098/2099	14,2	7,0	0,9	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,0
2099/2100	12,1	1,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1
Média	**10,7**	**2,9**	**0,9**	**0,7**	**2,6**	**4,4**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**22,3**

10.3.3.2 Couve-brócolo

As necessidades anuais médias estimadas para a couve-brócolo foram de 20 mm/ano, sendo o valor mínimo de 7 mm/ano e o valor máximo de 62 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi estimada em 271 mm/ano e a evapotranspiração real média em 143 mm/ano. A recarga anual média foi estimada em 319 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse couve-brócolo, a recarga que ocorre na mesma área de produção seria sobejamente suficiente para satisfazer as necessidades. Durante os períodos iniciais e de desenvolvimento da cultura em análise, primeiros 80 dias do ano hidrológico (ver Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se a frações de terreno diferentes das das necessidades e da recarga, reportando-se estas últimas à totalidade da área do terreno.

A Figura 10.35 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.36 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.22 mostra a evolução mensal das necessidades de água. Sendo a couve-brócolo uma cultura de outono-inverno, a partir de meio de fevereiro os valores das necessidades e das evapotranspirações são nulos.

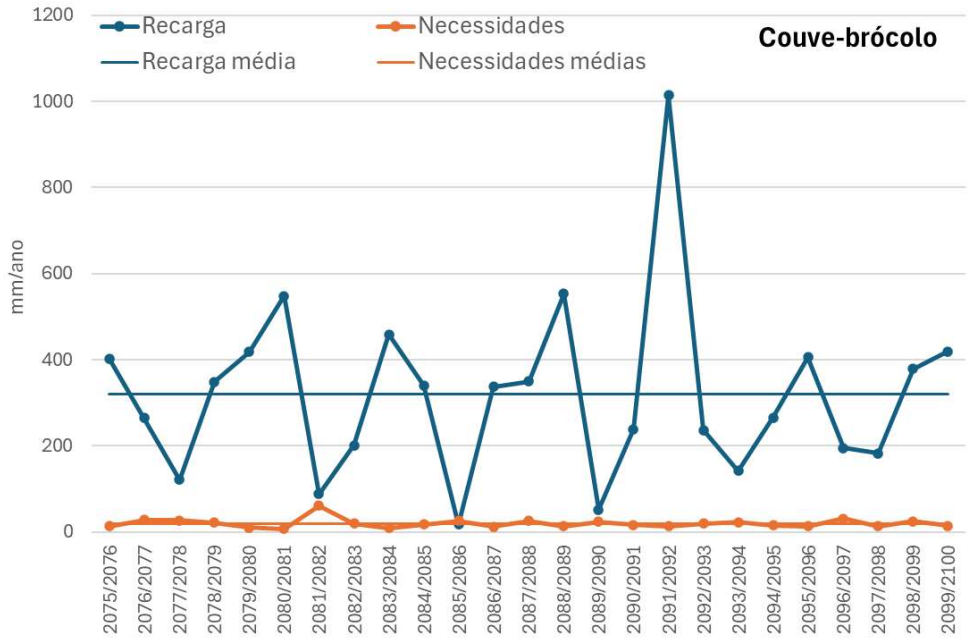


Figura 10.35 – Necessidades e recarga estimadas para a couve-brócolo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100

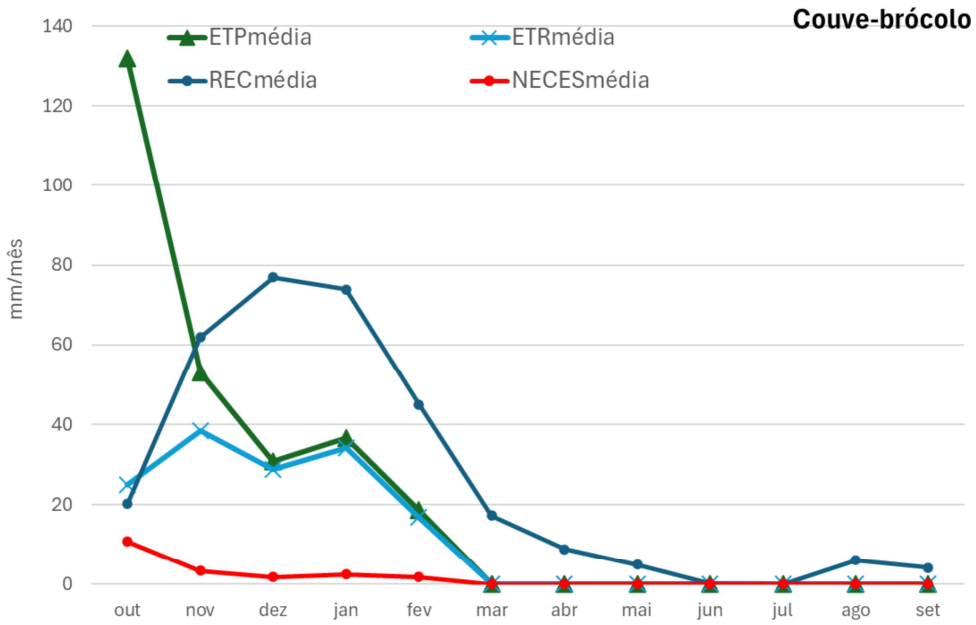


Figura 10.36 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para a couve-brócolo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 80 dias do ano hidrológico)

Quadro 10.22 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para a couve-brócolo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m³/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
2075/2076	9,2	1,5	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3
2076/2077	9,8	5,6	6,1	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,4
2077/2078	10,4	6,1	5,5	4,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,6
2078/2079	12,2	3,4	0,5	4,3	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,5
2079/2080	9,6	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7
2080/2081	5,5	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5
2081/2082	8,4	4,1	12,5	26,5	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	61,5
2082/2083	14,7	3,9	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,3
2083/2084	8,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0
2084/2085	11,1	5,2	0,2	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,4
2085/2086	13,4	2,6	5,7	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,4
2086/2087	8,9	1,9	0,0	1,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9
2087/2088	9,2	1,0	0,0	5,1	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,8
2088/2089	11,6	1,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4
2089/2090	9,9	6,8	0,3	0,9	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,4
2090/2091	11,5	2,2	0,2	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,9
2091/2092	8,9	3,2	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,8
2092/2093	14,0	2,5	3,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,1
2093/2094	12,6	5,9	3,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2
2094/2095	9,8	2,2	0,0	0,3	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7
2095/2096	11,2	1,5	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,1
2096/2097	12,7	5,7	3,8	3,4	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,3
2097/2098	7,9	3,3	0,0	0,8	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3
2098/2099	14,2	9,4	1,6	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,3
2099/2100	12,1	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,9
Média	**10,7**	**3,3**	**1,8**	**2,4**	**1,8**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**20,1**

10.3.3.3 Batata

As necessidades anuais médias estimadas para a batata foram de 522 mm/ano, sendo o valor mínimo de 445 mm/ano e o valor máximo de 582 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi estimada em 793 mm/ano e a evapotranspiração real média em 109 mm/ano. A recarga anual média foi estimada em 297 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse batata, a recarga que ocorre na mesma área de produção seria insuficiente para satisfazer as necessidades de água. Durante os períodos iniciais e de desenvolvimento da cultura em análise, primeiros 65 dias da cultura, iniciada em abril (ver Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se a frações de terreno diferentes das das necessidades e da recarga, reportando-se estas últimas à totalidade da área do terreno.

A Figura 10.37 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.38 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.23 mostra a evolução mensal das necessidades de água. Sendo a batata uma cultura de primavera-verão, até ao final de março e em setembro os valores das necessidades e das evapotranspirações são nulos.

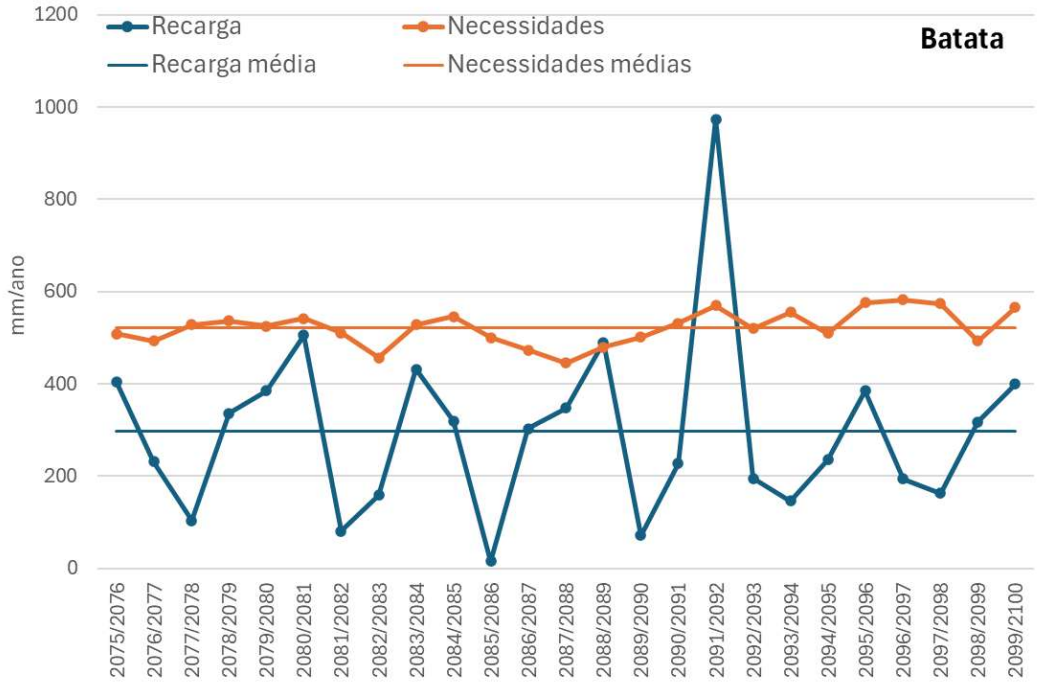


Figura 10.37 – Necessidades e recarga estimadas para a batata, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100

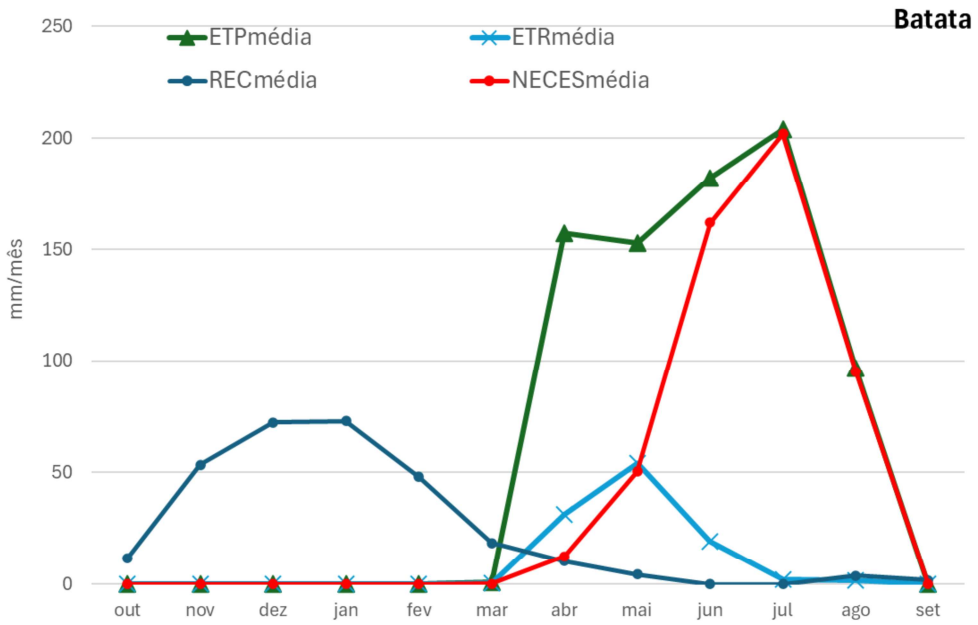


Figura 10.38 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para a batata, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 65 dias de início e desenvolvimento da cultura)

Quadro 10.23 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para a batata, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m³/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
2075/2076	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	16,2	58,9	128,9	212,0	91,8	0,0	508,2
2076/2077	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	31,2	131,6	219,8	99,3	0,0	492,7
2077/2078	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	56,0	149,3	205,7	101,4	0,0	528,3
2078/2079	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	59,1	143,6	203,1	119,1	0,0	536,7
2079/2080	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	16,6	39,3	186,0	196,3	86,9	0,0	525,6
2080/2081	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	40,1	182,3	208,1	98,1	0,0	541,6
2081/2082	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1	60,2	148,9	184,8	101,9	0,0	510,9
2082/2083	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	39,4	133,1	181,1	92,7	0,0	457,1
2083/2084	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	13,7	59,8	151,1	218,5	84,3	0,0	527,8
2084/2085	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	62,3	175,8	195,1	105,7	0,0	546,0
2085/2086	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	56,0	156,8	191,1	82,9	0,0	500,0
2086/2087	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	44,0	136,7	193,9	83,5	0,0	473,1
2087/2088	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	44,1	121,3	172,9	99,6	0,0	445,1
2088/2089	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	51,3	160,6	189,3	66,4	0,0	479,6
2089/2090	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,8	45,3	171,3	176,9	98,1	0,0	501,4
2090/2091	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1	53,1	168,7	198,1	97,5	0,0	531,5
2091/2092	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	13,2	49,1	191,3	215,6	100,5	0,0	569,9
2092/2093	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	49,3	172,3	181,8	103,3	0,0	519,5
2093/2094	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9	59,1	177,3	208,5	98,0	0,0	554,8
2094/2095	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4	43,0	166,8	198,3	87,5	0,0	509,0
2095/2096	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	14,4	57,9	168,6	238,4	96,2	0,0	575,8
2096/2097	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9	56,3	206,1	202,6	107,2	0,0	582,2
2097/2098	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	57,0	190,6	221,2	90,5	0,0	573,6
2098/2099	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	45,1	139,9	212,5	87,9	0,0	492,9
2099/2100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	45,9	187,4	223,2	93,6	0,0	566,0
Média	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,1**	**12,6**	**50,5**	**161,9**	**202,0**	**95,0**	**0,0**	**522,0**

10.3.3.4 Batata-doce

As necessidades anuais médias estimadas para a batata-doce foram de 502 mm/ano, sendo o valor mínimo de 419 mm/ano e o valor máximo de 569 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi estimada em 783 mm/ano e a evapotranspiração real média em 196 mm/ano. A recarga anual média foi estimada em 231 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse batata-doce, a recarga que ocorre na mesma área de produção seria insuficiente para satisfazer as necessidades de água. Durante os períodos iniciais e de desenvolvimento da cultura em análise, primeiros 50 dias da cultura, iniciada em abril (ver Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se a frações de terreno diferentes das das necessidades e da recarga, reportando-se estas últimas à totalidade da área do terreno.

A Figura 10.39 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.40 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.24 mostra a evolução mensal das necessidades de água. Sendo a batata-doce uma cultura de primavera-verão, até ao final de março e em setembro os valores das necessidades e das evapotranspirações são nulos.

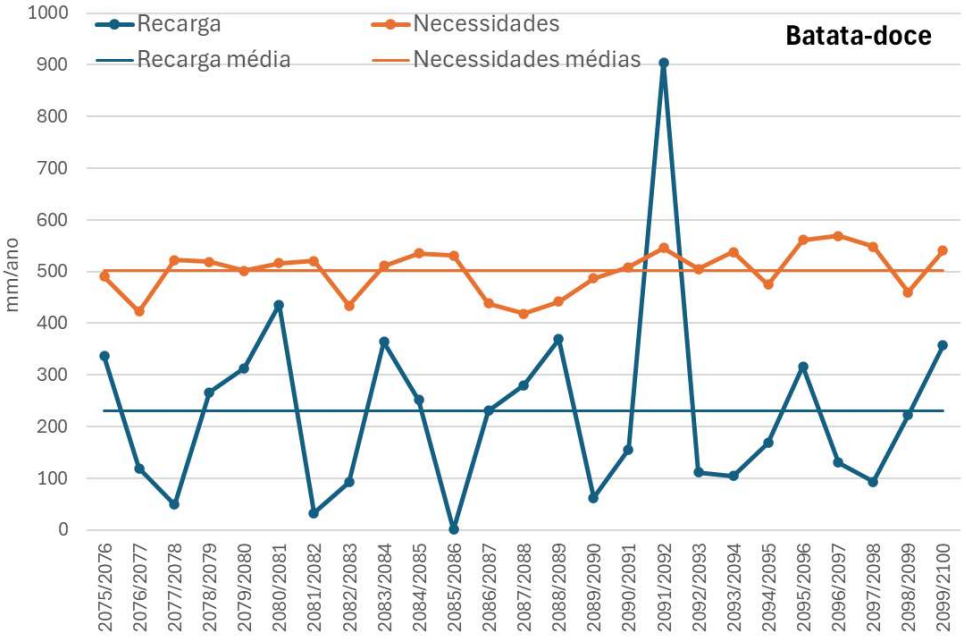


Figura 10.39 – Necessidades e recarga estimadas para a batata-doce, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100

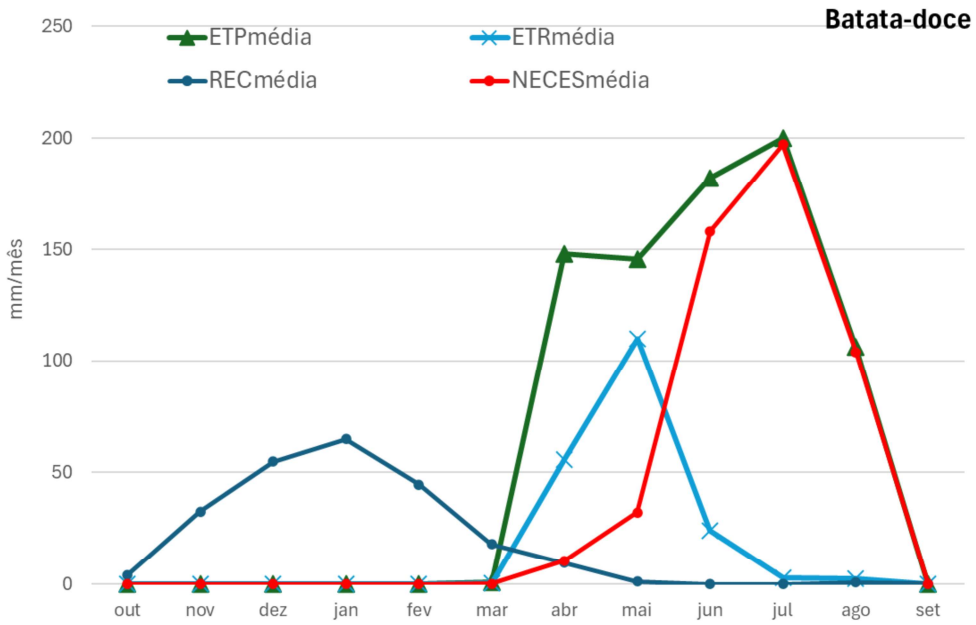


Figura 10.40 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para a batata-doce, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 50 dias de início e desenvolvimento da cultura)

Quadro 10.24 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para a batata-doce, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m³/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
2075/2076	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	13,5	40,5	128,3	205,9	101,5	0,0	490,0
2076/2077	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	12,6	81,2	212,0	109,0	0,0	423,1
2077/2078	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	41,8	154,3	201,6	111,5	0,0	522,5
2078/2079	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3	37,5	142,6	198,0	130,7	0,0	519,1
2079/2080	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	14,1	22,3	176,5	191,6	96,3	0,0	501,2
2080/2081	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	21,5	173,8	202,9	107,7	0,0	516,4
2081/2082	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1	57,4	156,1	181,4	111,9	0,0	521,0
2082/2083	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	18,2	128,3	176,4	102,6	0,0	433,8
2083/2084	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	11,1	43,5	150,3	212,9	93,4	0,0	511,3
2084/2085	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	46,9	176,8	191,3	116,2	0,0	535,5
2085/2086	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	74,5	162,9	187,4	90,9	0,0	531,0
2086/2087	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4	16,2	128,5	188,8	91,5	0,0	438,5
2087/2088	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	24,8	116,0	166,3	107,4	0,0	418,7
2088/2089	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	27,7	157,2	184,7	62,3	0,0	441,6
2089/2090	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	25,2	173,3	173,2	107,4	0,0	486,5
2090/2091	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	28,6	167,5	193,6	107,1	0,0	508,6
2091/2092	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	10,6	28,7	186,6	211,0	108,4	0,0	545,5
2092/2093	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3	31,4	171,9	178,3	113,5	0,0	505,5
2093/2094	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	37,7	178,1	203,9	107,5	0,0	537,7
2094/2095	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	16,1	157,7	193,6	96,1	0,0	475,0
2095/2096	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	11,8	41,0	168,4	232,8	106,7	0,0	560,9
2096/2097	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	38,8	207,1	198,4	117,8	0,0	569,4
2097/2098	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,2	27,2	191,6	217,3	99,0	0,0	548,2
2098/2099	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	19,2	131,7	206,5	96,4	0,0	460,2
2099/2100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	24,5	181,4	218,4	102,8	0,0	540,7
Média	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,1**	**10,6**	**32,1**	**157,9**	**197,1**	**103,8**	**0,0**	**501,7**

10.3.3.5 Milho

As necessidades anuais médias estimadas para o milho foram de 462 mm/ano, sendo o valor mínimo de 378 mm/ano e o valor máximo de 522 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi estimada em 807 mm/ano e a evapotranspiração real média em 196 mm/ano. A recarga anual média foi estimada em 238 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse milho, a recarga que ocorre na mesma área de produção seria insuficiente para satisfazer as necessidades de água. Durante os períodos iniciais e de desenvolvimento da cultura em análise, primeiros 70 dias da cultura, iniciada em abril (ver Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se a frações de terreno diferentes das das necessidades e da recarga, reportando-se estas últimas à totalidade da área do terreno.

A Figura 10.41 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.42 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.25 mostra a evolução mensal das necessidades de água. Sendo o milho uma cultura de primavera-verão, até ao final de março e em setembro os valores das necessidades e das evapotranspirações são nulos.

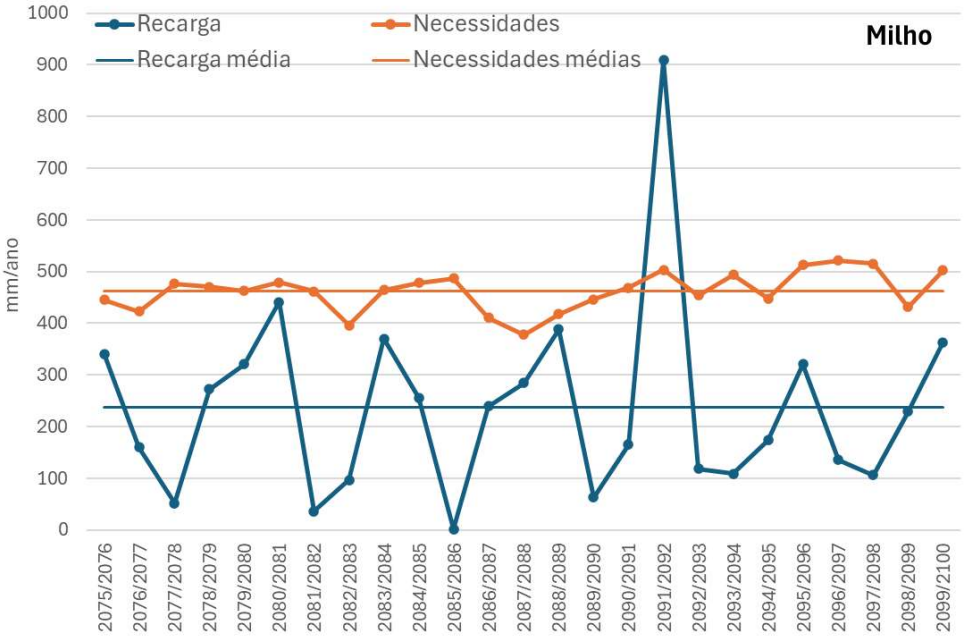


Figura 10.41 – Necessidades e recarga estimadas para o milho, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100

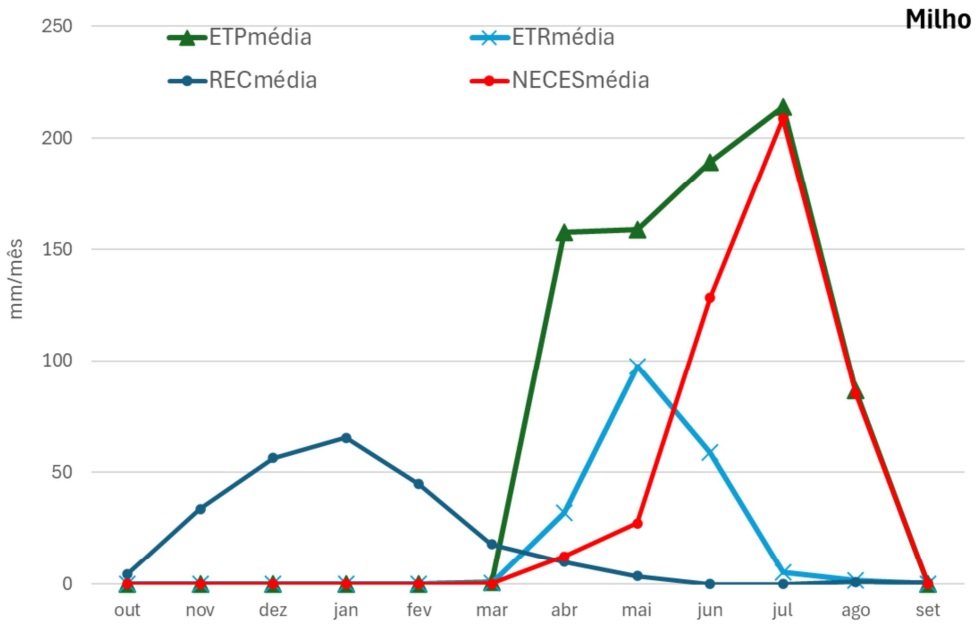


Figura 10.42 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para o milho, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: as evapotranspirações representam-se em frações de área diferentes das restantes variáveis durante os primeiros 70 dias de início e desenvolvimento da cultura)

Quadro 10.25 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para o milho, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m³/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
2075/2076	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	16,1	31,5	98,5	217,4	81,5	0,0	445,4
2076/2077	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	16,3	82,8	224,4	89,0	0,0	423,2
2077/2078	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	34,1	122,2	213,5	91,0	0,0	476,5
2078/2079	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,7	33,2	109,3	209,5	107,1	0,0	470,8
2079/2080	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	16,5	18,8	146,3	203,1	77,4	0,0	462,4
2080/2081	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	18,8	143,7	215,5	88,6	0,0	479,5
2081/2082	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1	40,2	123,7	191,3	91,2	0,0	461,5
2082/2083	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	17,4	98,5	185,8	83,7	0,0	396,0
2083/2084	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	13,6	32,6	117,3	226,0	74,7	0,0	464,5
2084/2085	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	35,3	139,6	201,6	95,0	0,0	478,5
2085/2086	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	49,1	149,0	200,6	75,1	0,0	487,0
2086/2087	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	19,6	101,9	199,7	74,6	0,0	410,8
2087/2088	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	19,9	90,1	174,6	86,5	0,0	378,0
2088/2089	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	26,1	124,4	195,1	60,5	0,0	418,1
2089/2090	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	23,6	140,2	185,1	87,5	0,0	446,2
2090/2091	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1	27,8	134,3	205,0	87,3	0,0	468,5
2091/2092	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	13,1	23,2	155,2	223,5	88,3	0,0	503,5
2092/2093	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	25,6	136,2	187,5	92,1	0,0	454,1
2093/2094	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9	33,8	143,5	216,8	88,2	0,0	494,2
2094/2095	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	19,2	131,5	205,3	78,5	0,0	447,8
2095/2096	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	14,3	30,9	134,5	246,5	86,1	0,0	512,5
2096/2097	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9	31,6	172,5	211,5	96,4	0,0	521,8
2097/2098	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	31,4	159,2	229,8	80,9	0,0	515,5
2098/2099	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	21,4	104,5	218,8	78,9	0,0	431,1
2099/2100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	21,8	149,8	231,1	83,9	0,0	502,4
Média	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,1**	**12,6**	**27,3**	**128,3**	**208,7**	**85,0**	**0,0**	**462,0**

10.3.3.6 Salsa

Para o cálculo das necessidades anuais médias para a salsa, como referido na secção 10.3.1, por limitação do programa BALSEQ_MOD, assumiu-se que esta se desenvolve durante todo o ano, não sendo sujeita a cortes e apresentando um coeficiente cultural constante, como se estivesse permanentemente em período de meia estação. Esta é uma assunção puramente teórica, que estima as necessidades de uma forma maximalista.

As necessidades estimadas foram de 845 mm/ano, sendo o valor mínimo de 675 mm/ano e o valor máximo de 941 mm/ano. A evapotranspiração potencial média anual foi estimada em 1146 mm/ano e a evapotranspiração real média em 300 mm/ano. A recarga anual média foi estimada em 307 mm/ano, pelo que, se apenas se plantasse salsa em toda a área, a recarga que ocorre nessa mesma área de produção seria insuficiente para satisfazer as necessidades. Ao contrário das culturas referidas nas outras secções (ver Quadro 6.7), as evapotranspirações reportam-se às mesmas frações de terreno das necessidades e da recarga, ou seja, a totalidade da área do terreno.

A Figura 10.43 mostra a distribuição dos valores anuais de necessidades e de recarga. A Figura 10.44 mostra a evolução da média mensal dos vários processos em análise e o Quadro 10.26 mostra a evolução mensal das necessidades de água.

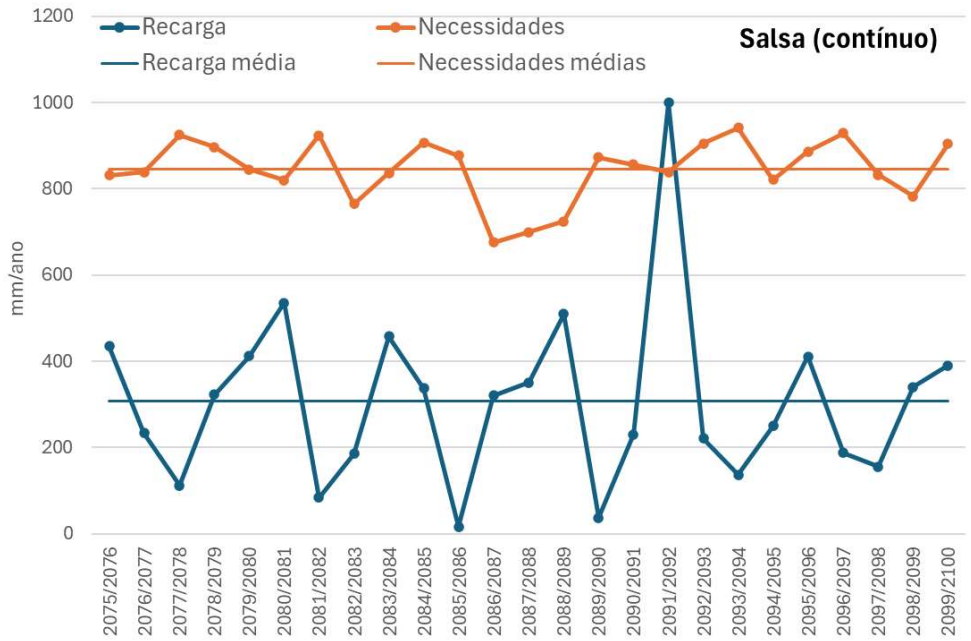


Figura 10.43 – Necessidades e recarga estimadas para uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100

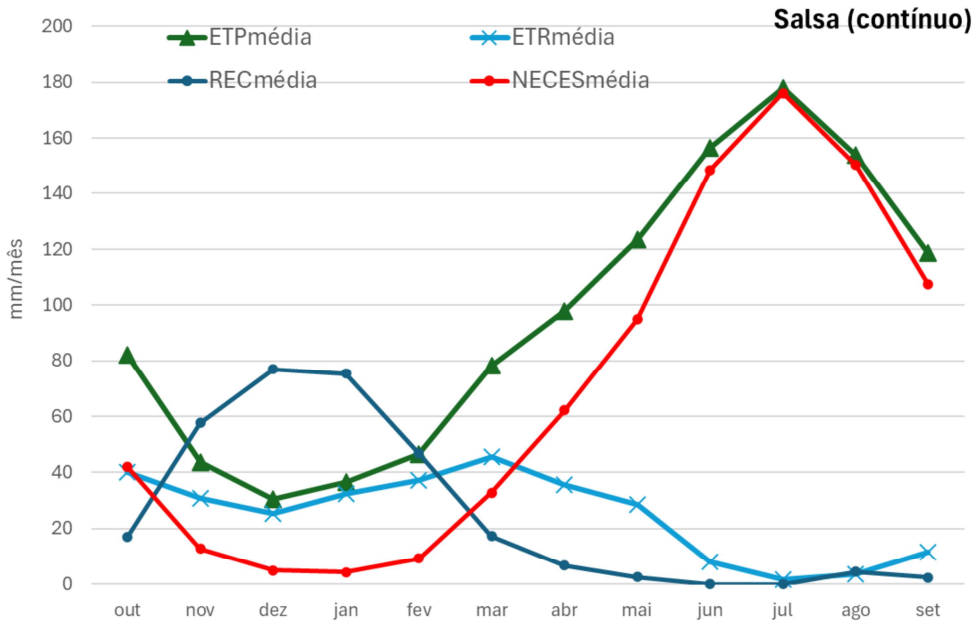


Figura 10.44 – Evolução mensal das médias das necessidades, recargas, evapotranspirações potenciais e reais, estimadas para uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (Nota: todos os processos estão representados considerando que a cultura ocupa sempre a totalidade da área)

Quadro 10.26 – Valores mensais e anuais das necessidades de água estimadas para uma cultura teórica de salsa por tempo contínuo, no cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período entre o ano hidrológico de 2075/76 e 2099/2100 (unidades: mm; para obter m^3/ha multiplicar por 10)

A.H.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
2075/2076	55,7	1,4	0,1	6,0	1,1	7,3	89,7	112,3	116,7	186,0	151,5	103,1	830,8
2076/2077	28,8	25,7	20,4	10,6	3,9	52,1	48,2	76,7	117,3	192,1	156,5	106,4	838,7
2077/2078	43,8	9,7	14,7	7,6	5,6	49,7	91,2	104,7	136,5	178,9	159,1	123,2	924,6
2078/2079	54,2	14,2	0,8	8,2	6,7	41,4	58,9	101,0	133,5	176,3	187,2	114,1	896,5
2079/2080	39,8	0,2	0,1	0,0	7,6	18,9	92,4	94,9	167,1	171,7	145,0	106,8	844,5
2080/2081	7,5	3,8	0,0	0,7	0,1	34,0	62,8	94,6	165,0	180,7	154,2	116,6	820,1
2081/2082	22,1	6,1	23,3	30,2	13,4	49,2	81,0	124,1	139,2	161,5	161,0	112,8	923,9
2082/2083	67,6	24,1	0,0	0,3	19,6	21,1	38,5	79,1	125,9	158,0	149,5	80,6	764,4
2083/2084	23,3	0,0	0,0	0,2	4,7	33,9	75,1	121,7	140,2	191,1	138,8	107,5	836,4
2084/2085	48,1	18,6	4,7	0,0	17,0	57,6	20,3	118,5	162,2	170,1	166,8	122,8	906,7
2085/2086	61,6	15,4	15,4	7,9	8,8	53,1	70,7	98,8	140,9	165,4	130,2	109,0	877,4
2086/2087	25,3	9,3	0,3	4,5	3,5	4,6	75,4	67,6	127,7	168,4	131,2	57,6	675,4
2087/2088	30,1	5,1	0,0	9,4	14,0	8,9	11,1	86,5	107,5	151,6	159,3	116,3	699,9
2088/2089	52,8	3,5	1,5	0,3	8,3	20,3	49,5	89,5	148,6	165,5	103,5	80,7	724,0
2089/2090	33,0	27,7	1,2	4,1	28,8	74,1	46,5	72,0	157,9	151,9	154,8	121,0	873,0
2090/2091	47,1	11,5	1,8	0,4	19,5	10,3	74,9	93,2	155,5	173,2	153,4	115,6	856,5
2091/2092	24,0	3,7	3,6	0,0	0,3	11,6	63,0	97,0	175,0	189,1	154,5	117,0	838,8
2092/2093	65,4	18,8	6,7	1,0	7,3	57,6	67,5	109,3	161,2	159,6	163,4	87,3	905,1
2093/2094	54,5	26,5	10,6	0,2	6,4	54,6	68,0	108,0	163,6	181,3	154,3	113,4	941,2
2094/2095	27,9	9,2	0,0	2,1	26,0	30,0	77,4	64,0	153,3	172,7	137,5	120,8	821,0
2095/2096	42,9	3,8	1,3	0,3	1,8	5,3	67,9	117,2	155,0	209,3	161,0	120,7	886,5
2096/2097	56,9	28,4	13,1	7,2	8,6	33,4	31,8	101,2	188,2	176,1	168,5	115,0	928,4
2097/2098	19,8	12,7	0,0	3,0	16,5	11,4	71,8	81,7	173,8	192,9	139,5	109,5	832,8
2098/2099	60,8	38,8	4,4	0,9	1,4	44,2	31,1	68,2	130,9	185,3	131,4	85,4	782,9
2099/2100	54,0	2,4	0,0	0,1	2,2	35,1	90,2	89,5	169,6	194,0	146,9	119,9	904,0
Média	**41,9**	**12,8**	**5,0**	**4,2**	**9,3**	**32,8**	**62,2**	**94,9**	**148,5**	**176,1**	**150,4**	**107,3**	**845,3**

10.3.4 Balanço entre necessidades e recarga

Com base nas necessidades calculadas para as diferentes culturas nas subsecções anteriores e nas recargas calculadas, na secção 6.3 para a série passada, e na subsecção 10.2.4 para o cenário de alterações climáticas RCP8.5, apresenta-se o balanço hídrico entre as necessidades de água e a recarga. O Quadro 10.27 sintetiza a informação relevante apresentada nessas secções para esta análise, verificando-se:

- Um aumento das necessidades de água e uma diminuição da recarga entre a situação do passado e a situação do cenário de alterações climáticas (devido ao efeito combinado de maior evapotranspiração potencial e menor precipitação);

Quadro 10.27 – Necessidades de água e recarga, médias por cultura e por período temporal, para as áreas do Agroparque e da bacia hidrográfica (B.H.) das Ribeiras da Costa

Cultura	Unidades	Área do Agroparque (1 619 881 m²)				B.H. das Ribeiras da Costa (+) (20 395 563 m²)	
		Necessidades		Recarga (na área cultivada do Agroparque)		Recarga	
		Passado	Futuro	Passado	Futuro	Passado	Futuro
Couve portuguesa	mm/ano	13	22	331	297		
	x1000 m³/ano	***21***	***36***	***536***	***481***		
	% Recarga B.H.	*0,5%*	*1,0%*	–	–		
Couve--brócolo	mm/ano	10	20	347	319		
	x1000 m³/ano	***16***	***32***	***562***	***517***		
	% Recarga B.H.	*0,4%*	*0,9%*	–	–	190 mm/ano	175 mm/ano
Batata	mm/ano	404	522	315	297		
	x1000 m³/ano	***654***	***846***	***510***	***481***		
	% Recarga B.H.	*16,9%*	*23,7%*	–	–		
Batata-doce	mm/ano	370	502	246	231		
	x1000 m³/ano	***599***	***813***	***398***	***374***	**3 883 x 1000 m³/ano**	**3 566 x 1000 m³/ano**
	% Recarga B.H.	*15,4%*	*22,8%*	–	–		
Milho	mm/ano	343	462	255	238		
	x1000 m³/ano	***556***	***748***	***413***	***386***		
	% Recarga B.H.	*14,3%*	*21,0%*	–	–		
Salsa (contínuo)	mm/ano	600	845	334	307		
	x1000 m³/ano	***972***	***1 369***	***541***	***497***		
	% Recarga B.H.	*25,0%*	*38,4%*	–	–		

Notas:

(+) Valores calculados considerando a cultura 50% milho + 50% couve portuguesa

"Passado": série temporal histórica, de 1983/10/01 a 2023/09/30

"Futuro": série temporal do cenário de alterações climáticas RCP8.5, de 2075/10/01 a 2100/09/30

"*% Recarga B.H.*" representa a relação entre as necessidades de água por cultura na área do Agroparque e a recarga da B.H. das Ribeiras da Costa (+) (ambas expressas em m³/ano).

- Considerando apenas a recarga ocorrendo dentro da área do Agroparque, ela é superior às necessidades de água para as culturas de inverno (couve portuguesa e couve-brócolo) e inferior no caso das restantes culturas;
- Considerando toda a área da bacia hidrográfica das Ribeiras da Costa, cuja água se infiltra e escoa para o aquífero das Terras da Costa, podendo ser mobilizada pelas captações de extração de água para rega das culturas, o balanço hídrico aponta para um valor máximo de necessidades de 38 % da recarga, ocorrendo esta situação para o cenário futuro admitindo uma situação teórica maximalista de cultura de salsa em toda a área, em tempo contínuo. A cultura seguinte com necessidades mais elevadas é a batata, com 24 % da recarga existente, no cenário climático futuro;
- Se se considerar as disponibilidades hídricas subterrâneas como 80 % da recarga calculada (ver capítulo 8 |) e toda a área da bacia hidrográfica das Ribeiras da Costa, o balanço hídrico aponta para um valor máximo de necessidades de 48 % das disponibilidades, ocorrendo esta situação para o cenário futuro admitindo uma situação teórica maximalista de cultura de salsa em toda a área, em tempo contínuo. A cultura seguinte com necessidades mais elevadas é a batata, com 30 % das disponibilidades, também no cenário climático futuro. No cenário passado as necessidades destas duas culturas representariam 31 % e 21 % das disponibilidades calculadas;
- A recarga considerada na área da bacia hidrográfica das Ribeiras da Costa foi calculada considerando as culturas “50% milho + 50% couve portuguesa”, pelo que se se tivesse utilizado as culturas para as quais se calcularam as necessidades (primeira coluna do quadro) os valores obtidos teriam sido diferentes. Para a modelação numérica do escoamento (secção 10.4.2), estes cálculos foram feitos para a cultura da batata, tendo-se obtidos valores de recarga superiores aos das culturas “50% milho + 50% couve portuguesa” (194 mm/ano ou 3948 x1000 m^3/ano para a recarga do passado; 179 mm/ano ou 3658 x1000 m^3/ano para a recarga do futuro). Isto significa que a utilização do valor obtido para a bacia hidrográfica das Ribeiras da Costa com as culturas “50% milho + 50% couve portuguesa”, no cálculo da relação entre as necessidades e a recarga, pode ser considerado como representativo das relações mais elevadas.

O balanço mencionado e a disponibilidade de água subterrânea para satisfazer as necessidades das culturas é aferido mediante o uso do modelo numérico de escoamento (secção 10.4).

10.4 Modelo numérico de escoamento

10.4.1 Características e calibração do modelo

Foi desenvolvido um modelo numérico de escoamento abrangendo a quase totalidade da área das ribeiras da Costa, no concelho de Almada. A área do modelo, bem como duas das três condições de fronteira consideradas (poços de extração e potencial constante), são indicadas na Figura 10.45. O modelo, paralelo à linha de costa, tem 8800 m na direção NNW-SSE e 3500 m na direção WSW-ENE.

A rotação da malha em relação à direção N é de 23,17º no sentido W. O modelo é composto por uma camada e células quadradas com 20 m de lado, resultando em 440 linhas e 175 colunas. Ao todo, há 43650 células ativas. A base do modelo está à cota -20 m (conferindo uma espessura mínima às aluviões e dunas igual à espessura média destas formações referida na secção 2.6.1).

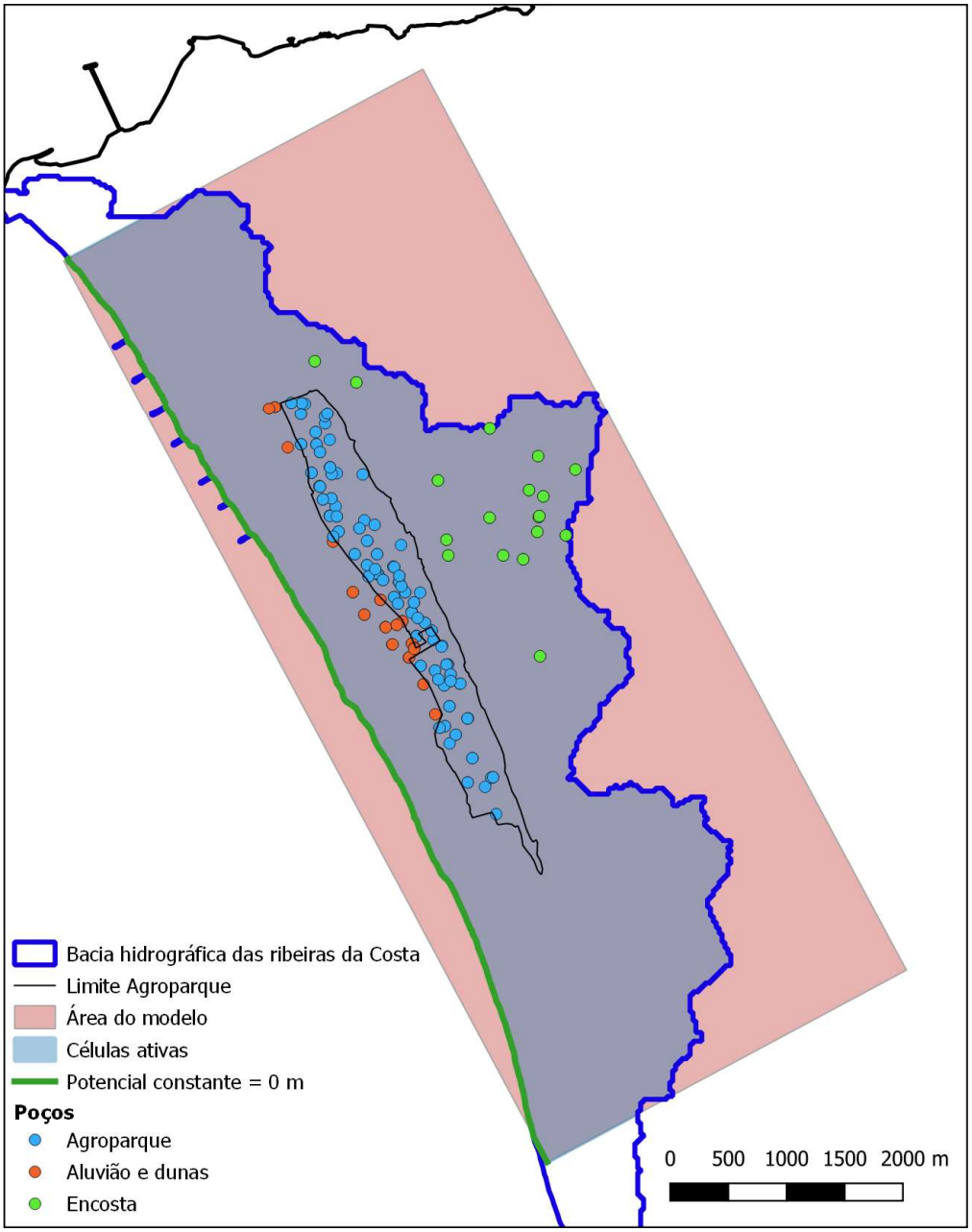


Figura 10.45 – Área do modelo numérico de escoamento subterrâneo e células ativas com indicação do limite da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada, o limite da área do Agroparque e a localização das condições de fronteira de potencial constante e poços

O modelo foi corrido em regime estacionário. A terceira condição de fronteira utilizada foi a recarga, tendo-se considerado a distribuição dos valores de recarga anual média calculados no capítulo 6 | (ver Figura 6.8). A fronteira com o mar foi considerada de potencial constante, com nível piezométrico à cota 0 m.

A condutividade hidráulica foi atribuída após calibração do modelo. Inicialmente foi assumida constante em toda a área baixa de aluviões e dunas, tendo-se atribuído o valor médio de 23,5 m/d de acordo com a secção 2.6.1, mas, após várias iterações do processo de calibração, foi reduzida para valores de 6 m/d na metade NNW do modelo e de 11 m/d na metade SSE; na restante área, de encosta, foi considerado, após várias corridas, o valor de 0,1 m/d.

Os valores das extrações por poços foram estimados com base nas necessidades médias estimadas no capítulo 7 |, ou seja, 701 535 m^3/ano, tendo-se distribuído este valor global de extração pelos poços identificados. Inicialmente, as extrações para a agricultura distribuíram-se igualmente pelos 98 poços identificados na zona baixa de aluviões e dunas (19,6 m^3/d/poço). Contudo, verificou-se, durante o processo de calibração, que era necessário variar os caudais dos poços em função da sua localização, tendo-se também atribuído valores mais elevados às zonas de agricultura mais intensiva, verificada durante as duas campanhas de monitorização realizadas. Para os poços situados na encosta assumiu-se uma extração de 0,5 m^3/d/poço. A Figura 10.46 mostra a distribuição dos caudais.

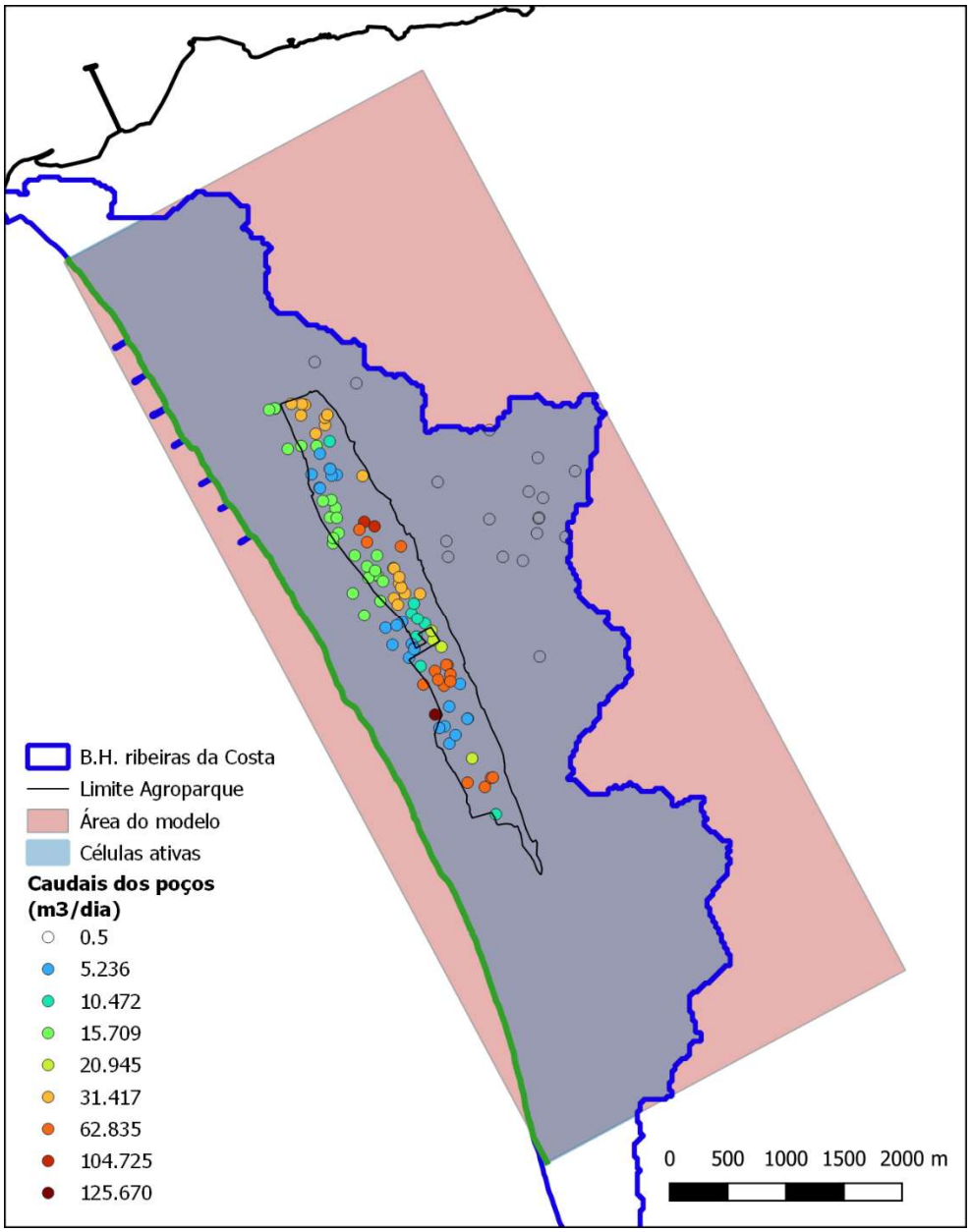


Figura 10.46 – Caudais dos poços atribuídos ao modelo de escoamento

É de esperar a existência de mais extrações de águas subterrâneas na área do modelo, principalmente fora da zona das Terras da Costa. Essas extrações não foram incorporadas no modelo, mas dado que se situam fora da área agrícola, espera-se que não sejam relevantes e que o impacte da sua não inclusão nos resultados do modelo seja pequeno.

Foi utilizada a interface de modelação ModelMuse v.5.3.1.0 (Winston, 2024) tendo-se selecionado o modelo de diferenças finitas MODFLOW-2005 (Harbaugh, 2005). A Figura 10.47 ilustra a interface, assim como a distribuição dos valores de condutividade hidráulica.

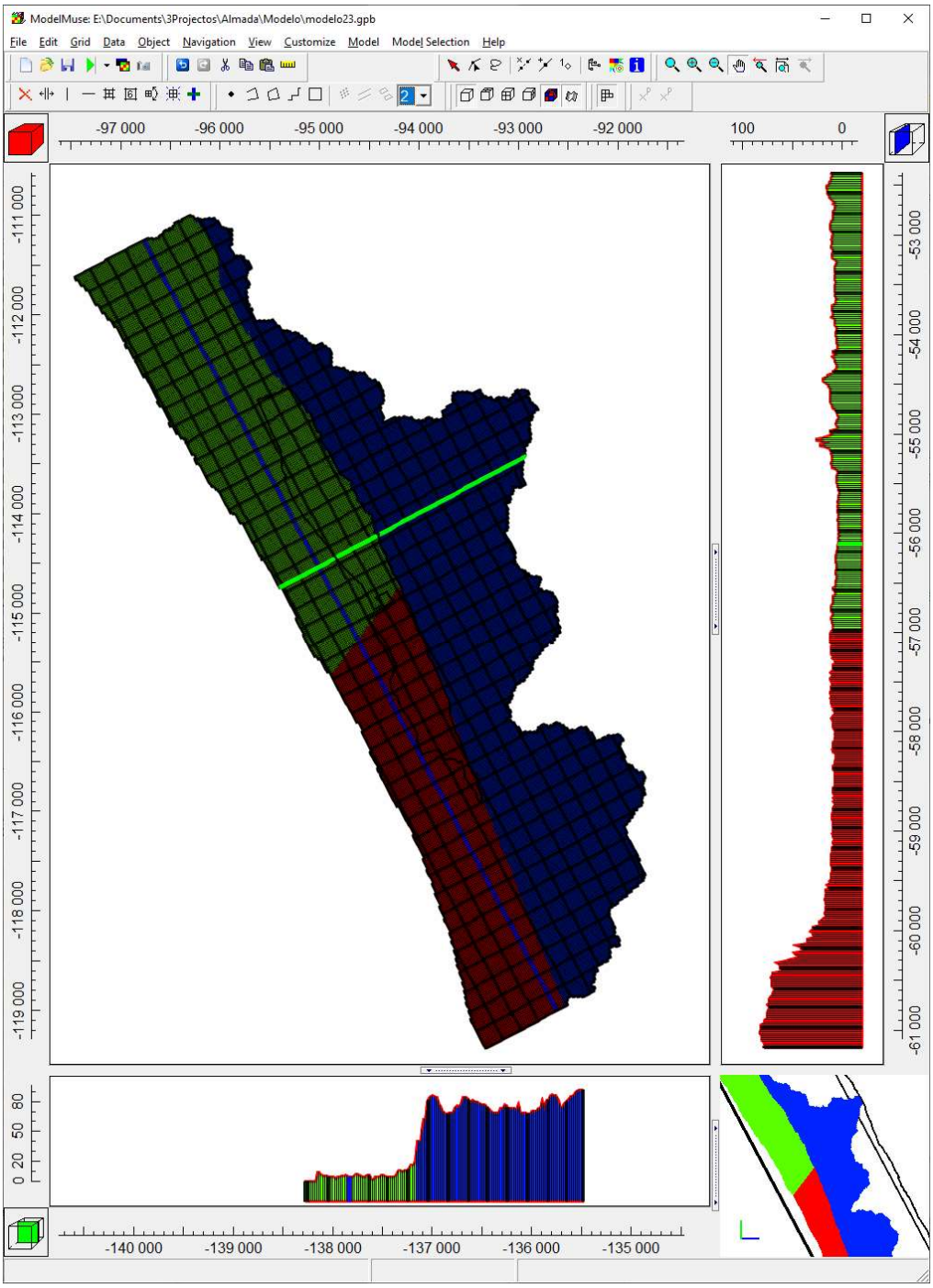


Figura 10.47 – Interface do programa ModelMuse ilustrando a malha do modelo e os valores de condutividade hidráulica atribuídos (verde = 6 m/d, vermelho = 11 m/d, azul = 0,1 m/d)

Os resultados obtidos com os parâmetros de corrida utilizados são apresentados na Figura 10.48. Dado que a amplitude da escala do nível piezométrico é muito grande representa-se o nível piezométrico da zona de aluviões e dunas utilizando uma escala de cores mais reduzida na Figura 10.49. Verifica-se que, na zona com maiores extrações, é notório um ligeiro rebaixamento dos níveis em contraste com a zona mais a SSE, o que se deve à elevada condutividade hidráulica destas formações geológicas.

A Figura 10.50 apresenta o balanço volumétrico obtido.

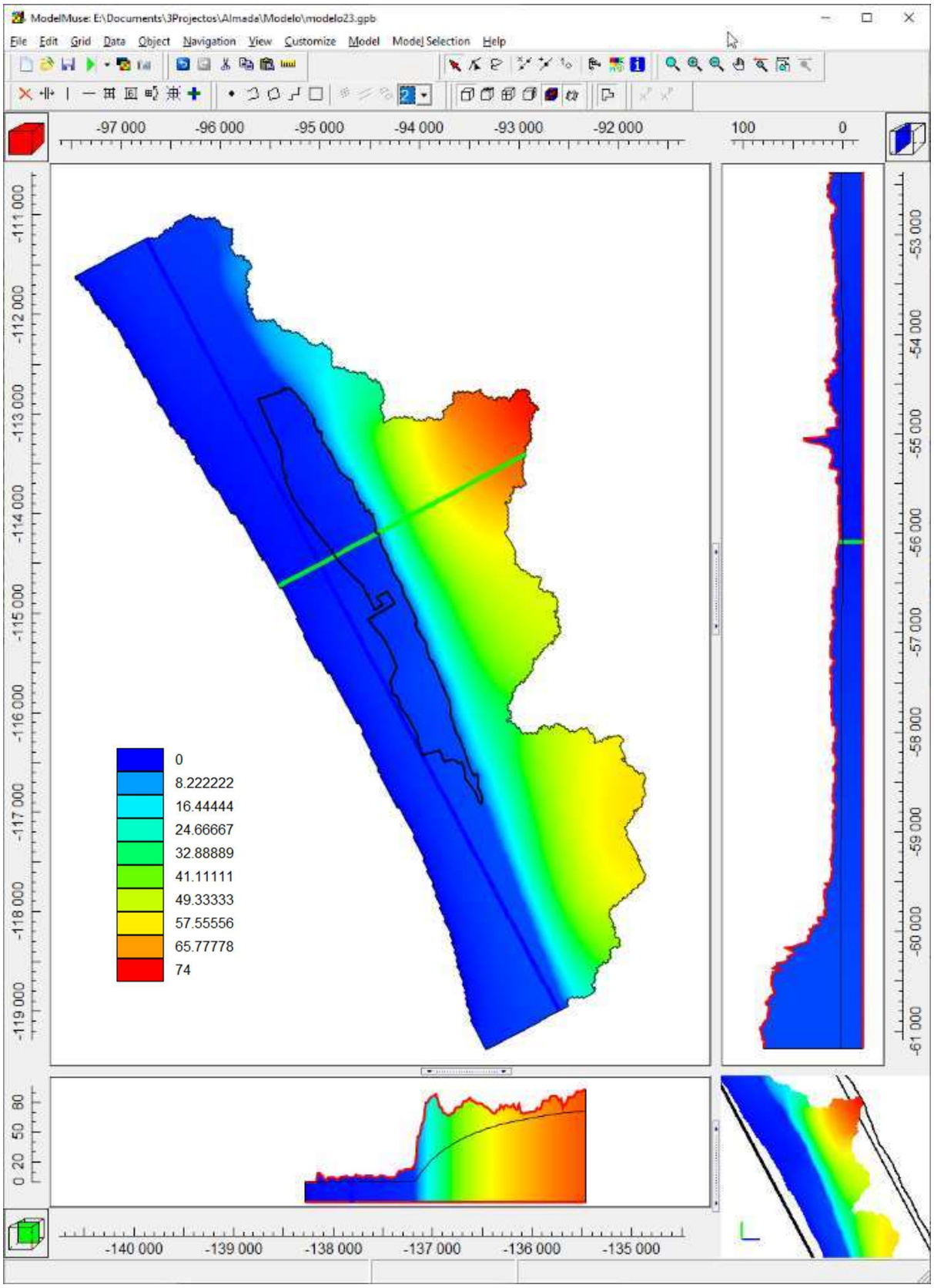


Figura 10.48 – Nível piezométrico obtido para a situação atual

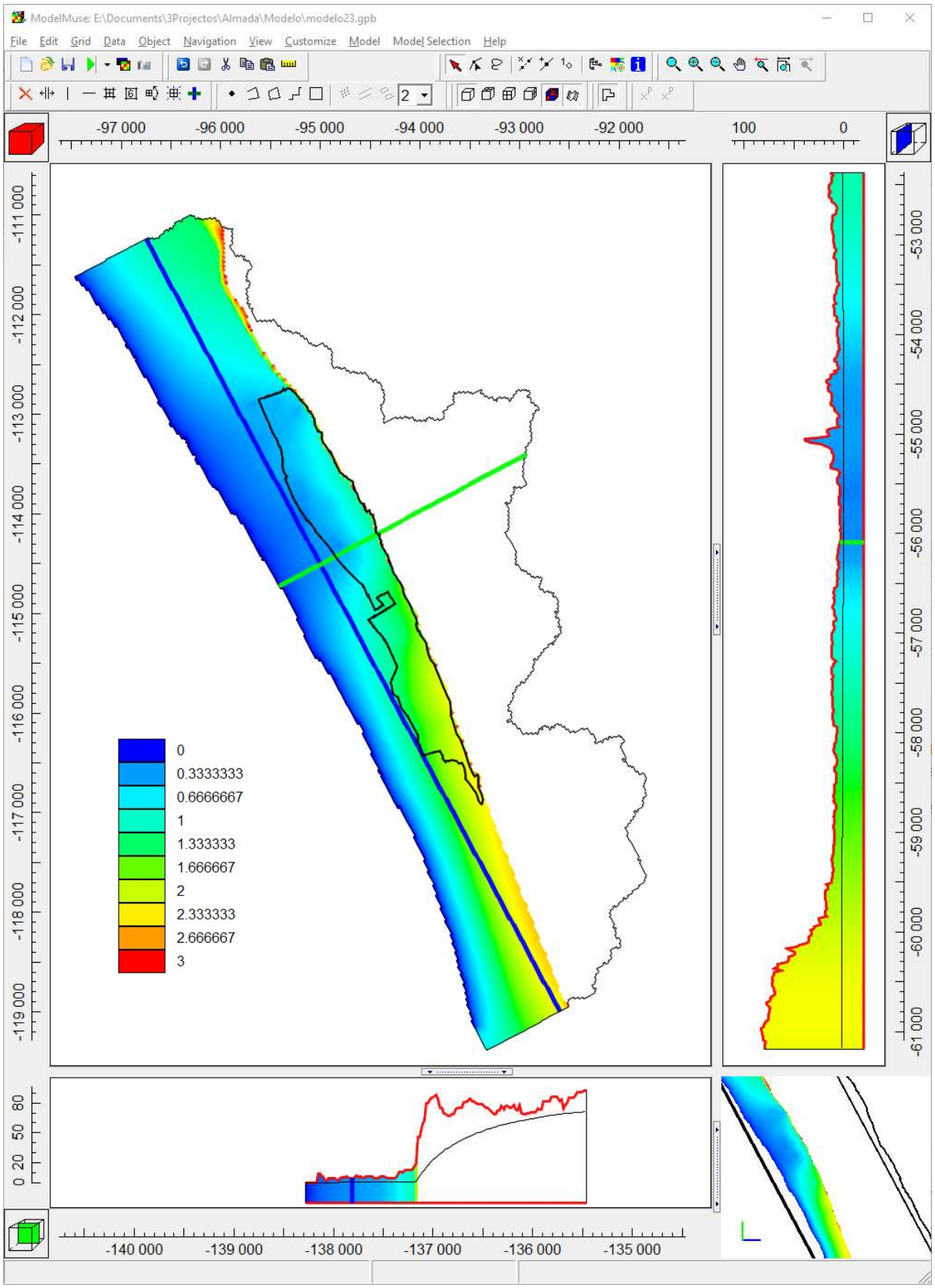


Figura 10.49 – Nível piezométrico obtido para a situação atual (escala de cores restringida ao intervalo 0-3 m)

VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 1, STRESS PERIOD 1

CUMULATIVE VOLUMES	L**3	RATES FOR THIS TIME STEP	L**3/T
IN:		IN:	
STORAGE =	0.0000	STORAGE =	0.0000
CONSTANT HEAD =	0.0000	CONSTANT HEAD =	0.0000
WELLS =	0.0000	WELLS =	0.0000
RECHARGE =	8737.4893	RECHARGE =	8737.4893
TOTAL IN =	8737.4893	TOTAL IN =	8737.4893
OUT:		OUT:	
STORAGE =	0.0000	STORAGE =	0.0000
CONSTANT HEAD =	6167.8979	CONSTANT HEAD =	6167.8979
WELLS =	2569.5129	WELLS =	2569.5129
RECHARGE =	0.0000	RECHARGE =	0.0000
TOTAL OUT =	8737.4111	TOTAL OUT =	8737.4111
IN - OUT =	7.8125E-02	IN - OUT =	7.8125E-02
PERCENT DISCREPANCY =	0.00	PERCENT DISCREPANCY =	0.00

Figura 10.50 – Balanço volumétrico do modelo para a situação atual

A Figura 10.51 mostra o ajuste entre os níveis piezométricos modelados e os observados (campanha de maio de 2024). Não se pode considerar o ajustamento ideal, mas, ao longo de todas as iterações realizadas para a calibração do modelo, foi percetível que, com os valores de condutividade hidráulica (K) utilizados, os impactes das extrações dos poços eram relativamente reduzidos, que as alterações dos valores de K não impactavam significativamente nos níveis piezométricos obtidos, e que se poderiam alterar os valores de caudais extraídos pelos poços, e com isso conseguir um melhor ajustamento.

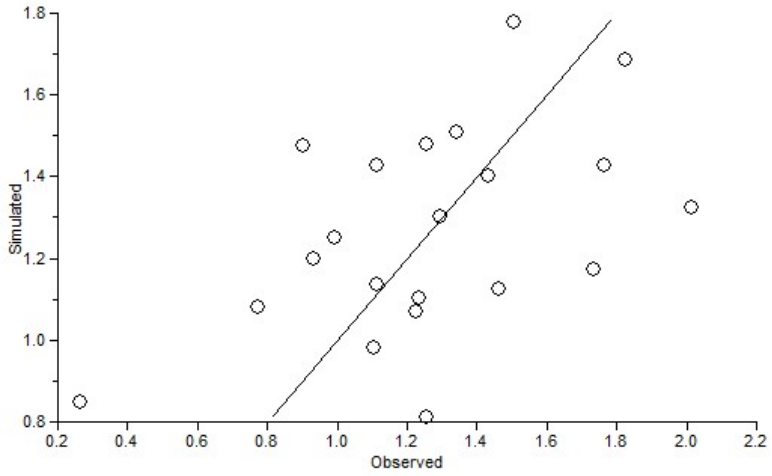


Figura 10.51 – Representação do ajustamento do modelo aos dados monitorizados

Dado que não é seguro que não existam mais poços a extrair água noutros locais, continuar o exercício de tentar um melhor ajustamento alterando caudais de extração nos poços utilizados, ou localmente os valores de K, não se afigurou razoável. O resultado obtido foi o que melhor se conseguiu para ajustar os níveis piezométricos modelados aos medidos, após 94 iterações. A raiz quadrada da média dos desvios quadráticos, que dá uma indicação da qualidade do modelo, é de 0,34 m. A média das

diferenças é inferior a 1 cm. A Figura 10.52 mostra a distribuição das diferenças. Como se pode verificar estas encontram-se muito bem distribuídas, com valores opostos, ou seja, locais onde o modelo sobrestima as cotas dos NP próximo de locais onde subestima. Esta situação pode também justificar-se pela atribuição errada da cota do terreno a partir do MDT utilizado, o que tem impacte direto na cota do NP determinada para cada poço. Assim, um passo importante neste projeto seria validar as cotas das bocas dos poços onde se fizeram as medições com recurso a levantamento topográfico.

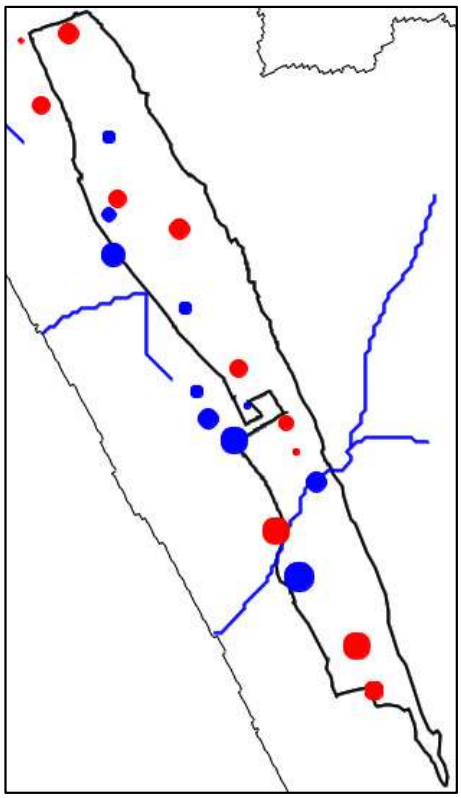


Figura 10.52 – Diferenças entre os níveis piezométricos (NP) observados e modelados (quanto maior a bola, maior a diferença – bolas vermelhas: NP modelado acima do observado, bolas azuis: NP observado acima do modelado. Maior diferença absoluta: 68 cm, Menor diferença absoluta: 2 cm)

As corridas seguintes permitirão estudar os efeitos das alterações da recarga e das extrações, assim como estudar os efeitos das alterações climáticas no aquífero. Será igualmente verificado o impacte que diferentes soluções de práticas agrícolas referidas no capítulo 9 | terão na qualidade da água subterrânea.

10.4.2 Impacte das culturas no balanço hídrico

10.4.2.1 Introdução

A realização do modelo numérico usando as várias culturas utilizadas neste estudo seria muito morosa, pelo que se selecionou a cultura com maiores necessidades, excluindo-se a salsa, uma vez que se considerou a sua existência contínua durante todo o ano (ver secções 10.3.2.6 e 10.3.3.6) e uma ocupação do solo a 100%, o que não é de todo previsível.

Excluindo a salsa, a cultura com maiores necessidades de água é a batata (cf. Quadro 10.27), com necessidades médias de 404 mm/ano, no caso de se considerar a série temporal do passado, e de 522 mm/ano, no caso de se considerar a série temporal para o período outubro/2075 a setembro/2100 do cenário de alterações climáticas RCP8.5.

Para se estudar o cenário mais extremo selecionou-se, para cada período de análise, o ano hidrológico em que se calcularam as maiores necessidades.

Enquanto os resultados de recarga estimados nas secções 6.3.1 (passado) e 10.2.4.2 (alterações climáticas) utilizaram, como culturas tipo para a ocupação do solo Corine Land Cover 2018 com o código 242, a combinação "50% milho + 50% couve", assim como a modelação numérica apresentada na secção 10.4.1, nas simulações que se apresentam a seguir considerou-se a recarga média obtida utilizando, para a ocupação do solo Corine Land Cover 2018 com o código 242, a cultura em estudo, ou seja a batata.

Para o estudo agora realizado, considerou-se que o volume de extrações se distribui uniformemente pela área de ocorrência da ocupação do solo Corine Land Cover 2018 com o código 242, ou seja, como se em cada célula do modelo houvesse uma captação de água. Na realidade esta situação não existe, mas, dada a condutividade hidráulica e espessura das formações, o impacte de se considerar as extrações de água assim distribuídas não será muito significativo.

As corridas foram feitas em regime estacionário, pelo que os resultados apresentados refletem uma situação em que, ano após ano, se extrai uma quantidade de água equivalente à do ano com necessidades maiores, o que na realidade seria um ano excecional. Nos restantes anos, os rebaixamentos das cotas dos níveis piezométricos deveriam ser menores e, assim, estas situações seriam mais favoráveis a uma maior disponibilidade hídrica.

10.4.2.2 Série temporal de 1983/10/01 a 2023/09/30

Dos 40 anos do período considerado, o ano hidrológico de 1985/86 foi o que apresentou maiores necessidades, com 543 mm/ano (cf. Quadro 10.17), representando, para a totalidade da área agricultável do Agroparque (1,620 km^2), um volume a extrair de 879 x1000 m^3/ano, ou, se se considerar toda a extensão com a ocupação do solo Corine Land Cover 2018 com o código 242 ("Sistemas culturais e parcelares complexos", 2,126 km^2), 1154 x1000 m^3/ano. Esta última é a situação considerada no modelo numérico, pelo que se estuda um cenário ainda mais extremo do que se se considerasse apenas a área do Agroparque.

Os valores de recarga média para a totalidade da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa, calculados utilizando a cultura da batata, foram de 194 mm/ano ou 3948 x1000 m^3/ano, ou seja, ligeiramente superiores aos obtidos com a combinação de culturas "50% milho + 50% couve".

O resultado obtido é apresentado nas Figura 10.53 e Figura 10.54. Como se pode verificar, com as extrações realizadas, as cotas dos níveis piezométricos (NP) apresentam valores sempre positivos, não havendo por isso o risco de intrusão marinha. Com base nestes resultados, verifica-se que o aquífero tem disponibilidade para satisfazer as necessidades da cultura da batata.

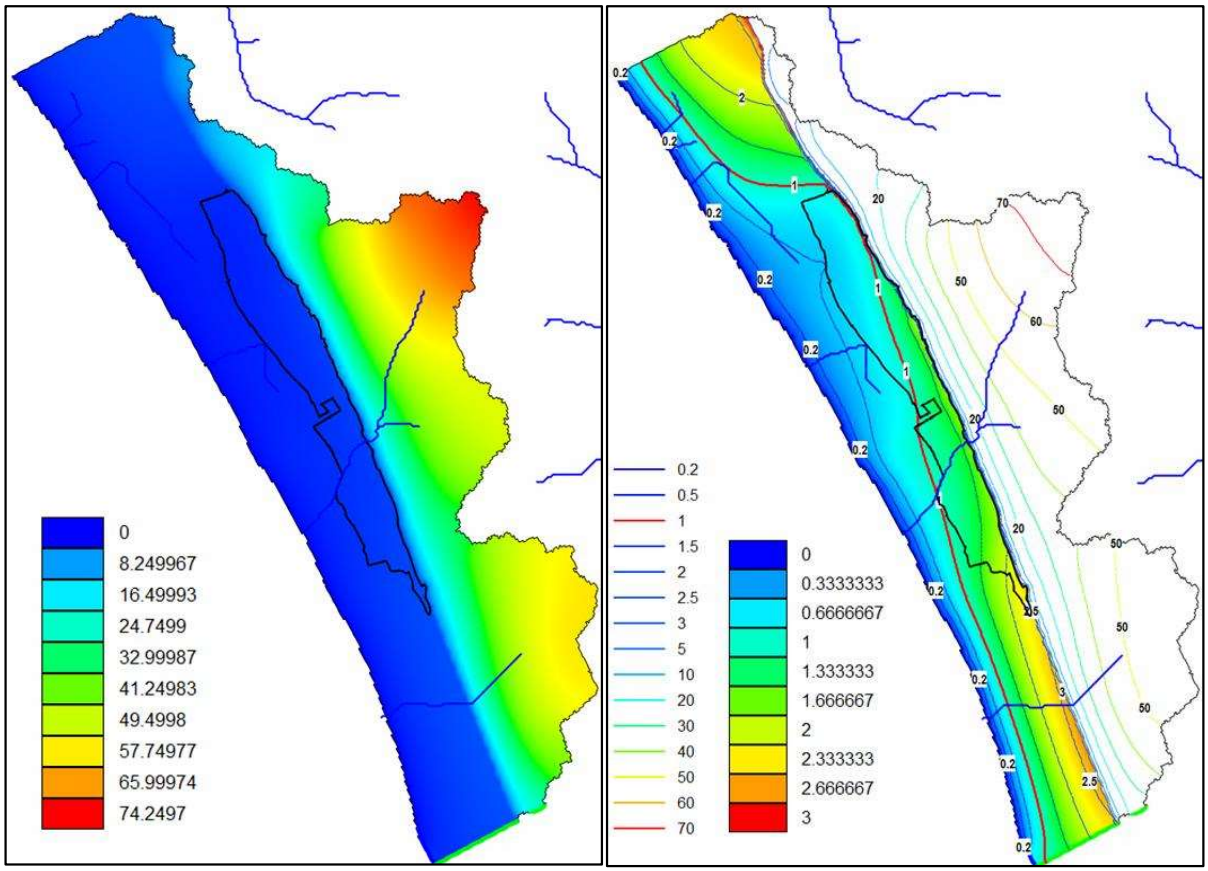


Figura 10.53 – Nível piezométrico obtido para o período 1983/10/01 a 2023/09/30, utilizando a cultura de batata e as extrações de água estimadas para o ano de maiores necessidades de água (no lado direito a escala de cores está restringida ao intervalo 0-3 m)

```
 VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP    1, STRESS PERIOD   1
 ------------------------------------------------------------------------------

    CUMULATIVE VOLUMES      L**3       RATES FOR THIS TIME STEP      L**3/T
    ------------------                 ------------------------

          IN:                                IN:
          ---                                ---
            STORAGE =          0.0000            STORAGE =          0.0000
     CONSTANT HEAD =          0.0000     CONSTANT HEAD =          0.0000
             WELLS =          0.0000             WELLS =          0.0000
          RECHARGE =       8916.5264          RECHARGE =       8916.5264

           TOTAL IN =       8916.5264           TOTAL IN =       8916.5264

         OUT:                               OUT:
         ----                               ----
            STORAGE =          0.0000            STORAGE =          0.0000
     CONSTANT HEAD =       5755.5352     CONSTANT HEAD =       5755.5352
             WELLS =       3160.8901             WELLS =       3160.8901
          RECHARGE =          0.0000          RECHARGE =          0.0000

           TOTAL OUT =      8916.4258           TOTAL OUT =      8916.4258

            IN - OUT =         0.1006            IN - OUT =         0.1006

 PERCENT DISCREPANCY =         0.00     PERCENT DISCREPANCY =         0.00
```

Figura 10.54 – Balanço volumétrico do modelo para o período 1983/10/01 a 2023/09/30, utilizando a cultura de batata e as extrações de água estimadas para o ano de maiores necessidades de água

10.4.2.3 Série temporal futura de 2075/10/01 a 2100/09/30

Dos 25 anos do período considerado, o ano hidrológico com maiores necessidades de água foi o de 2096/97, com 582 mm/ano (cf. Quadro 10.23), representando, para a totalidade da área agricultável do Agroparque (1,620 km^2), um volume a extrair de 943 x1000 m^3/ano, ou, se se considerar toda a extensão com a ocupação do solo Corine Land Cover 2018 com o código 242 (“Sistemas culturais e parcelares complexos”, 2,126 km^2), 1237 x1000 m^3/ano. Esta última é a situação considerada no modelo numérico, pelo que se estuda um cenário ainda mais extremo do que se se considerasse apenas a área do Agroparque.

Os valores de recarga média para a totalidade da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa, calculados utilizando a cultura da batata, foram de 179 mm/ano ou 3658 x1000 m^3/ano, ou seja, ligeiramente superiores aos obtidos com a combinação de culturas “50% milho + 50% couve”.

O resultado obtido é apresentado nas Figura 10.55 e Figura 10.56. Um aspeto importante destes resultados é que, apesar das cotas dos níveis piezométricos (NP) apresentarem valores negativos junto do limite NNW do Agroparque, com um valor mínimo de -0,25 m, esse valor está próximo de zero e a isolinha da cota dos NP = 0 m circunscreve essa zona, quase completamente ainda dentro do Agroparque, não havendo por isso o risco de intrusão marinha, que existira apenas se a isolinha da cota dos NP = 0 m atingisse a linha de costa. Isso significa que o aquífero tem disponibilidade para satisfazer as necessidades, mesmo no cenário teórico mais exigente (o da cultura e do ano com maiores necessidades). A questão da não existência de intrusão marinha também pode ser verificada consultando o balanço volumétrico apresentado na Figura 10.56; se existisse, o valor de fluxo de entrada na condição de fronteira de potencial constante (“in” e “constant head” na figura) seria superior a 0.

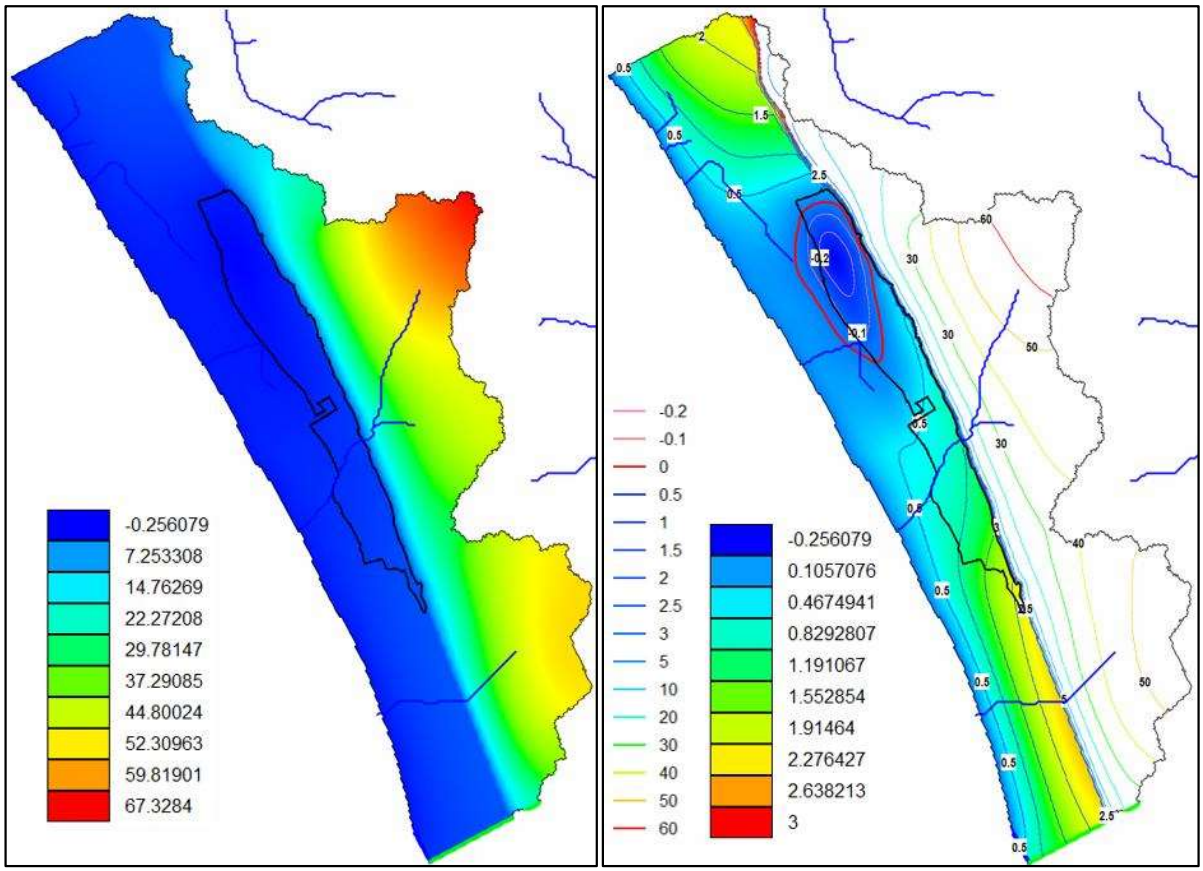


Figura 10.55 – Nível piezométrico obtido para a situação do cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período 2075/10/01 a 2100/09/30, utilizando a cultura de batata e as extrações de água estimadas para o ano de maiores necessidades de água (no lado direito a escala de cores está restringida ao intervalo 0-3 m)

VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 1, STRESS PERIOD 1

CUMULATIVE VOLUMES	L**3	RATES FOR THIS TIME STEP	L**3/T
IN:		IN:	
STORAGE =	0.0000	STORAGE =	0.0000
CONSTANT HEAD =	0.0000	CONSTANT HEAD =	0.0000
WELLS =	0.0000	WELLS =	0.0000
RECHARGE =	8220.1592	RECHARGE =	8220.1592
TOTAL IN =	8220.1592	TOTAL IN =	8220.1592
OUT:		OUT:	
STORAGE =	0.0000	STORAGE =	0.0000
CONSTANT HEAD =	4832.3906	CONSTANT HEAD =	4832.3906
WELLS =	3387.9155	WELLS =	3387.9155
RECHARGE =	0.0000	RECHARGE =	0.0000
TOTAL OUT =	8220.3066	TOTAL OUT =	8220.3066
IN - OUT =	-0.1475	IN - OUT =	-0.1475
PERCENT DISCREPANCY =	-0.00	PERCENT DISCREPANCY =	-0.00

Figura 10.56 – Balanço volumétrico do modelo para a situação do cenário de alterações climáticas RCP8.5, para o período 2075/10/01 a 2100/09/30, utilizando a cultura de batata e as extrações de água estimadas para o ano de maiores necessidades de água

10.4.3 Previsão da evolução do teor de nitratos no aquífero através de um cenário de exploração

Nesta secção apresenta-se um cenário onde se simula a remoção de fertilizantes agrícolas pela agricultura, como referido na secção 9.3.4. Este cenário implica utilizar a água do aquífero para a rega das culturas enquanto o aquífero é alimentado por um processo de recarga natural (por infiltração da água da chuva).

Para o início da corrida do modelo, na área abrangida pelos poços de monitorização, que está associada à área de ocorrência da ocupação do solo Corine Land Cover com o código 242 ("Sistemas culturais e parcelares complexos"), considera-se que a água do aquífero tem a concentração de nitratos determinada pela campanha de maio de 2024 (ver secção 4.4.2.2, Figura 4.7). Fora desta área não haverá prática de rega, assumindo-se como condição inicial um valor de concentração de nitrato de 25 mg/L. Considera-se que a água de recarga tem uma concentração de nitrato de 0 mg/L. Dado que o modelo é composto por apenas uma camada, implicitamente considera-se que, em cada célula do modelo, a concentração de nitrato é constante em toda a espessura do aquífero.

Para se fazer a previsão da evolução do teor de nitratos, sobre o modelo numérico de escoamento apresentado na secção 10.4.2.2 (que considerou a recarga que ocorreu no período de 1983/10/01 a 2023/09/30, utilizando a cultura da batata, e as extrações de água para rega correspondentes às necessidades do ano hidrológico em que estas foram maiores, 1985/86, com um valor de 1154 x1000 m^3/ano) correu-se um modelo de transporte de massa, MT3D-USGS (Bedekar *et al.*, 2016), que considera o efeito das direções e velocidade de escoamento subterrâneo, calculadas no modelo numérico de escoamento, e a dispersividade do meio, responsável pelo espalhamento dos iões ao longo do percurso subterrâneo.

Os valores de dispersividade longitudinal e transversal foram considerados iguais a 10 e 1, respetivamente. O valor de porosidade foi assumido constante em todo o aquífero, tendo-se atribuído o valor de 25 %, um valor mínimo representativo das litologias arenosas que compõem o sistema aquífero.

O modelo de transporte foi corrido para um período de 50 anos, considera a situação em que não há adição de nitratos à cultura utilizada (batata), e que esta consome a totalidade do nitrato existente na água de rega. Assim, para a corrida do modelo de transporte, não há adição de qualquer nitrato ao aquífero, uma vez que, como referido atrás, se considerou que na água de recarga a concentração era nula. Em oposição, o nitrato é removido do aquífero pela extração de água por poços e furos, que é depois utilizada na rega, e pelo escoamento natural em direção ao mar.

No processo de escoamento para o mar, a água subterrânea da zona do Agroparque vai-se misturando e diluindo com a água subterrânea existente a jusante deste, diminuindo assim a sua concentração na área do Agroparque.

Esta evolução ao longo do tempo pode ser observada na Figura 10.57. O valor máximo representado é de 1250 mg/L, o valor mínimo é de 0 mg/L. Na primeira figura (tempo inicial) o valor mínimo dentro da área de estudo é de 25 mg/L.

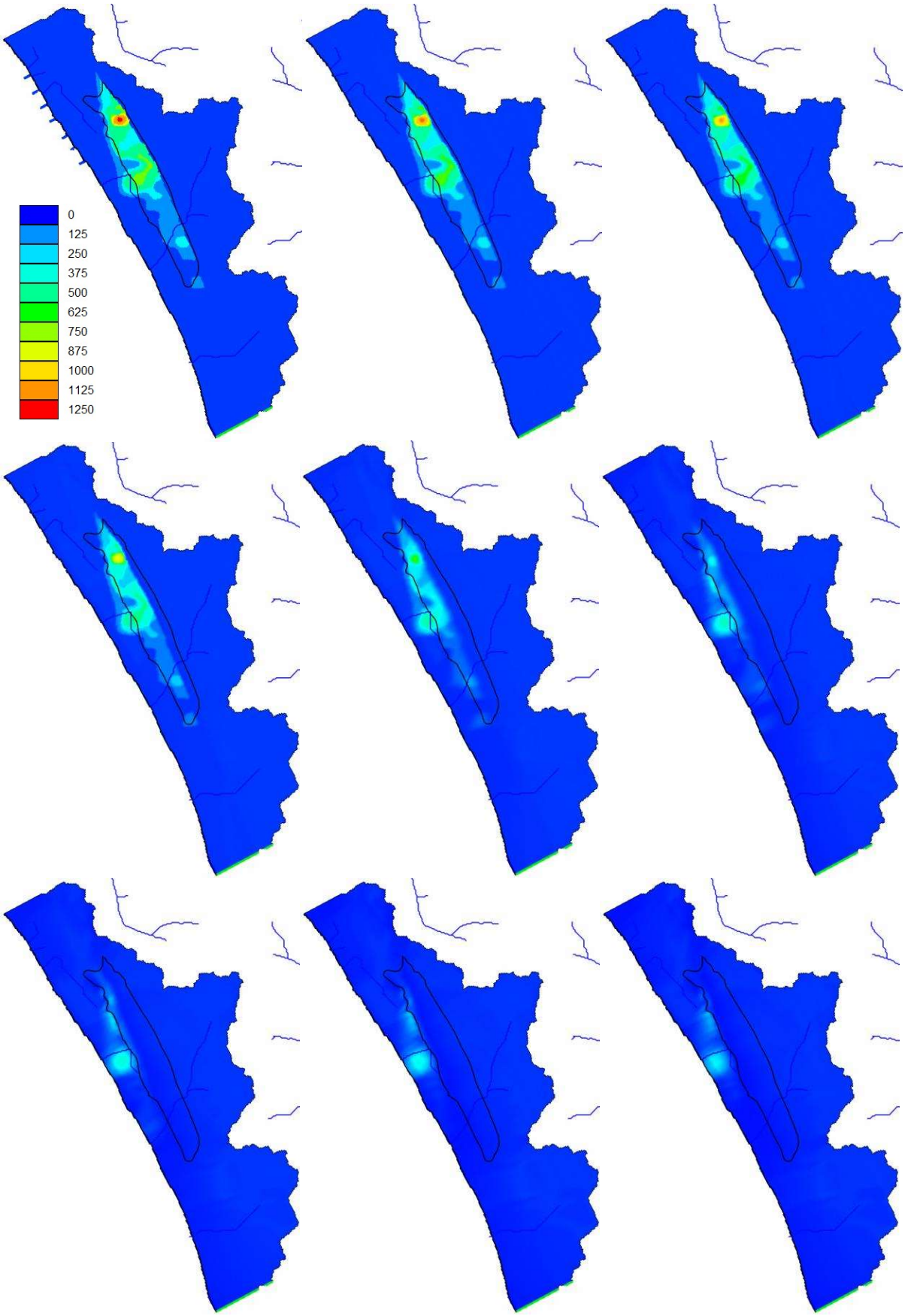


Figura 10.57 – Evolução do teor de nitratos (mg/L). Da esquerda para a direita e de cima para baixo: tempo inicial, ~1 ano, ~2 anos, 5 anos, 10 anos, 20 anos, 30 anos, 40 anos, 50 anos

Os mapas com a distribuição espacial mostram uma deslocação das zonas mais contaminadas em direção ao mar, seguindo as direções de escoamento subterrâneo, em simultâneo com a diminuição dos teores de nitratos. Essa diminuição pode ser vista na Figura 10.58 que ilustra a evolução, ao longo do tempo, dos valores máximo e mínimo dos teores de nitratos calculados dentro da área do modelo.

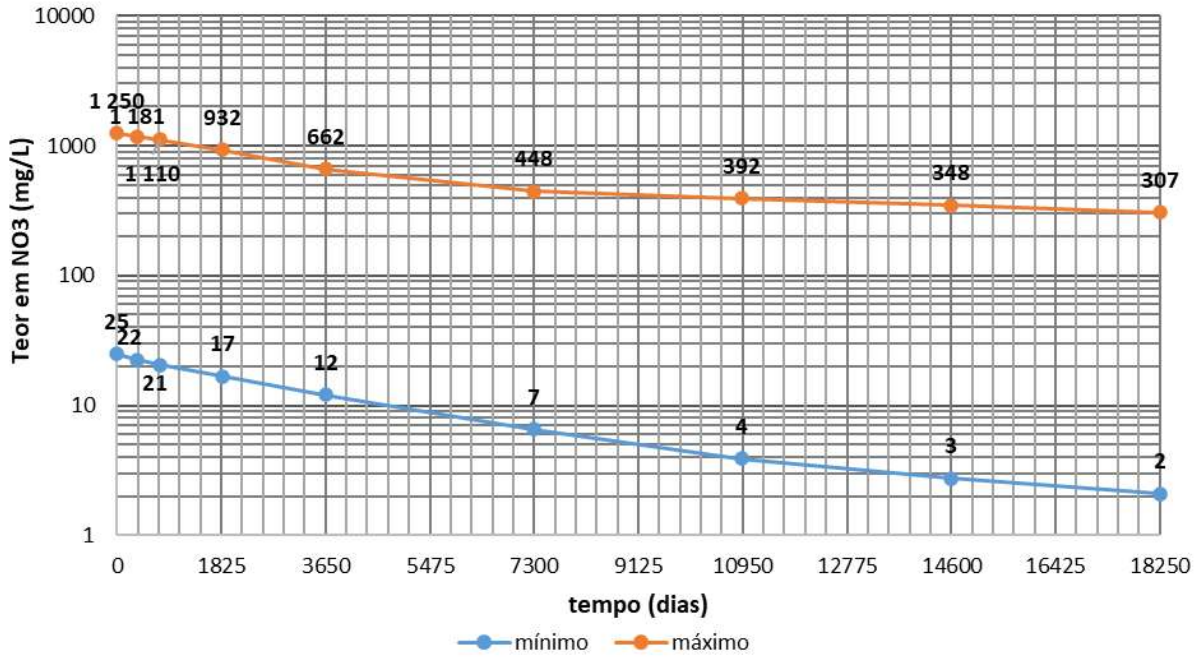


Figura 10.58 – Evolução dos teores de nitratos máximo e mínimo na área do modelo

11 | Conclusões e recomendações

11.1 Conclusões

Neste relatório apresentam-se os resultados do conjunto de estudos desenvolvidos no âmbito deste Projeto (1) caracterizando-se a situação existente nas águas subterrâneas do aquífero das Terras da Costa, (2) identificando-se soluções para melhorar o estado químico das águas subterrâneas, (3) testando-se cenários do uso de diferentes culturas no Agroparque através do cálculo das suas necessidades de água, tendo em conta as condições meteorológicas do passado e as projetadas para o futuro, (4) caracterizando-se a recarga anual das águas subterrâneas utilizando um modelo de balanço hídrico sequencial diário a nível do solo desenvolvido no LNEC e (5) modelando-se numericamente o escoamento subterrâneo para testar o comportamento do aquífero em cenários de alterações climáticas e considerando algumas das soluções propostas para melhoria da qualidade da água.

A monitorização e amostragem de campo foram realizadas num conjunto de 32 poços (de 70 identificados) onde foram conduzidas duas campanhas de amostragem de água, em dezembro de 2023 e maio de 2024, para a análise da sua qualidade relativamente a 55 parâmetros físico-químicos, incluindo iões maiores, metais, pesticidas e hidrocarbonetos. Em três poços foram, ainda, colocadas sondas para medição contínua do nível piezométrico, condutividade elétrica e temperatura, durante cerca de um mês, para fazer a monitorização da possível influência da maré na qualidade das águas subterrâneas e auxiliar na análise de eventuais processos de intrusão marinha.

As **principais conclusões** do estudo sobre as águas subterrâneas do aquífero das Terras da Costa são apresentadas seguidamente.

A **qualidade química das águas subterrâneas** foi avaliada com base nos resultados obtidos em 32 poços, tendo sido analisada a sua evolução relativamente a estudos anteriores. Os resultados mostram que as águas são predominantemente bicarbonatadas e sulfatadas cálcicas a sódicas e apresentam elevada mineralização (valor da mediana de condutividade elétrica de 2 168 µS/cm, sendo o Limiar 2500 µS/cm) e pH neutro a básico (de 6,78 a 8,12). Em grande parte da área estudada a condutividade elétrica e as concentrações em Cl^-, SO_4^{2-} e NO_3^- e Na^+ apresentam valores muito acima das respetivas Normas de Qualidade Ambiental (NQA). Relativamente aos resultados obtidos para os nove metais analisados, apenas o zinco e o ferro apresentaram concentrações acima nas respetivas NQA, em 19 e um caso, respetivamente, tendo havido três elementos (cádmio, chumbo e crómio, com exceção de um valor do crómio) cuja concentração foi inferior aos limites de quantificação. Foram detetados cinco dos 15 pesticidas analisados, em 14 poços (oito com concentrações em pesticidas individuais acima da NQA e três com concentrações em pesticidas totais acima da NQA). As concentrações de pesticidas nas águas subterrâneas de maio de 2024 são frequentemente superiores quando comparadas com a campanha de inverno. Quatro dos 17 hidrocarbonetos analisados, incluindo os HTP, surgem em concentrações acima das respetivas NQA em sete pontos de amostragem: HTP (2 pontos), fenantreno

(7), floranteno (2) e naftaleno (1). Contudo, apenas num poço as concentrações estão acima do limite de quantificação em ambas as campanhas.

As concentrações dos diversos elementos analisados e as relações entre eles indiciam possível contaminação das águas subterrâneas pela drenagem da água durante a rega de campos agrícolas, com concentrações elevadas de nitratos e sulfatos resultantes dos fertilizantes, mas também pela provável contribuição de fossas séticas existentes no tecido urbano disperso pelo território agrícola, constituído por habitações familiares sem rede de esgotos. O facto de haver agricultura durante todo o ano, por vezes com quatro colheitas por ano, não permite individualizar a sua contribuição relativamente a outras origens.

A avaliação da **adequabilidade química da água para uso agrícola** mostra a predominância de águas com alto a muito alto risco de salinização e baixo a médio risco de alcalização. Assim, a qualidade da água deve ser tida em consideração nos planos de rega e fertilização por forma a evitar a salinização irreversível dos solos. Embora não tenha sido o objeto deste estudo analisar a **qualidade da água para consumo humano** (faltaria analisar outros parâmetros, *e.g.*, os microbiológicos), verifica-se que há diversos parâmetros analisados que estão acima dos Valores Paramétricos definidos pelo Decreto-Lei 152/2017 sobre a Qualidade da Água destinada ao Consumo Humano (*e.g.*, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^- e Na^+), verificando-se assim a sua inconformidade para aquele uso.

Relativamente à análise da **intrusão marinha**, os resultados obtidos nas sondas de medição contínua indicam que a oscilação do nível piezométrico induzida pela variação da maré é pouco significativa. As amplitudes do nível piezométrico variaram entre 0,12 m e 0,19 m durante um mês de medições, mas devido a episódios de precipitação mais intensos. A baixa influência da maré no nível piezométrico também é confirmada pela fraca variação da CE nos poços em função da maré. Por outro lado, os índices iónicos confirmam que se trata de águas doces com origem continental.

A quantificação da **recarga anual** das águas subterrâneas por balanço hídrico sequencial diário a nível do solo foi feita considerando duas áreas distintas: (1) uma área mais alargada, que abrange a área de 20,39 km^2 da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa no concelho de Almada, com o objetivo de estudar toda a água que pode drenar para a área em estudo, tendo em vista o desenvolvimento do modelo numérico de escoamento subterrâneo, e (2) uma área restrita de estudo, com 2,12 km^2, das Terras da Costa. Utilizando uma série de precipitação diária de 40 anos, de 1 de outubro de 1983 a 30 de setembro de 2023, da estação meteorológica de Charneca da Caparica, a precipitação média foi de 644 mm/ano (13 144 dam^3/ano na área mais alargada e 1 364 dam^3/ano na área restrita) e a recarga anual média foi estimada, na área alargada, em 190 mm/ano (3 883 dam^3/ano) e, na área das Terras da Costa, em 262 mm/ano (555 dam^3/ano).

O estudo das **alterações climáticas nos recursos hídricos** projeta uma precipitação média 21 mm/ano mais baixa no período de outubro/2025 a setembro/2100, em comparação com a da série passada (outubro/1983 a setembro/2023). Compartimentando em três períodos de 25 anos, de outubro/2025 a setembro/2050, de outubro/2050 a setembro/2075 e de outubro/2075 a setembro/2100, no primeiro período há um aumento de 33 mm/ano da precipitação média em relação à série passada, no segundo período uma diminuição de 52 mm/ano e, no último período, uma diminuição de

45 mm/ano. Relativamente à evapotranspiração de referência prevê-se que ela aumente em média, para a totalidade do período, 145 mm/ano em relação à série passada. No primeiro período de 25 anos de projeções tem uma média 108 mm/ano superior, no segundo 148 mm/ano e, no último período, 177 mm/ano.

Foi estudado o **impacte das alterações climáticas no cenário RCP8.5 na recarga de águas subterrâneas**, tendo-se selecionado o período mais restritivo em termos de disponibilidades de água, ou seja, o período de 25 anos de outubro/2075 a setembro/2100. Consideraram-se as mesmas duas áreas referidas atrás e aplicou-se a mesma metodologia. A precipitação anual média projetada é de 599 mm/ano (12 224 dam^3/ano na área mais alargada e 1 268 dam^3/ano na área restrita) e a recarga anual média é estimada, na área alargada, em 175 mm/ano (3 566 dam^3/ano) e, na área das Terras da Costa, em 234 mm/ano (496 dam^3/ano).

O **cálculo das necessidades de água considerou seis culturas-tipo**: duas de outono/inverno (couve portuguesa e couve-brócolo), três de primavera-verão (batata, batata-doce e milho), e uma anual (salsa). Este cálculo foi realizado para a área mais restrita agricultável do Agroparque, com 1,620 km^2), para as séries meteorológicas do passado (outubro/1983 a setembro/2023) e as projetadas para o período de 25 anos de outubro/2075 a setembro/2100. As necessidades calculadas são sintetizadas no Quadro 11.1, assim como a relação entre as necessidades de água e a recarga que ocorre na bacia hidrográfica das ribeiras da Costa. Considera-se a área da bacia hidrográfica pois toda a água que nela se infiltra, e escoa para o aquífero das Terras da Costa, pode ser mobilizada pelas captações de extração de água para rega das culturas.

Quadro 11.1 – Necessidades médias de água calculadas em função do tipo de cultura, para a situação do passado e para o cenário de alterações climáticas RCP8.5, e relação entre as necessidades de água e a recarga anual média na bacia

Cultura	Necessidades da área do Agroparque (1 619 881 m^2)				Relação entre as necessidades da cultura e a recarga da bacia hidrográfica das ribeiras da Costa (20 395 563 m^2)	
	(mm/ano)		(x1000 m^3/ano)			
	Passado	Futuro	Passado	Futuro	Passado	Futuro
Couve portuguesa	13	22	*21*	*36*	*0,5%*	*1,0%*
Couve-brócolo	10	20	*16*	*32*	*0,4%*	*0,9%*
Batata	404	522	*654*	*846*	*16,9%*	*23,7%*
Batata-doce	370	502	*599*	*813*	*15,4%*	*22,8%*
Milho	343	462	*556*	*748*	*14,3%*	*21,0%*
Salsa (contínuo)	600	845	*972*	*1 369*	*25,0%*	*38,4%*

Verifica-se: (1) um aumento das necessidades de água e uma diminuição da recarga entre a situação do passado e a situação do cenário de alterações climáticas (devido ao efeito combinado de maior evapotranspiração potencial e menor precipitação); (2) o balanço hídrico aponta para um valor máximo de necessidades de 38 % da recarga, ocorrendo esta situação para o cenário futuro admitindo uma situação teórica maximalista de cultura de salsa em toda a área, em tempo contínuo; a cultura seguinte

com necessidades mais elevadas é a batata, com 24 % da recarga existente, no cenário futuro; (3) considerando as disponibilidades hídricas subterrâneas como 80 % da recarga calculada (ver capítulo 8 |), o balanço hídrico aponta para um valor máximo de necessidades de 48 % das disponibilidades, ocorrendo esta situação para o cenário futuro admitindo uma situação teórica maximalista de cultura de salsa em toda a área, em tempo contínuo; a cultura seguinte com necessidades mais elevadas é a batata, com 30 % das disponibilidades, também no cenário futuro; no cenário passado as necessidades destas duas culturas representariam 31 % e 21 % das disponibilidades calculadas.

A situação da **capacidade do aquífero das Terras da Costa para satisfazer as necessidades de água** foi estudada também mediante a elaboração de um **modelo numérico de escoamento**. Este foi desenvolvido tendo em atenção a situação do passado e também o cenário de alterações climáticas RCP8.5. Este modelo, desenvolvido em regime estacionário, utilizou as necessidades da cultura da batata, aquela que é mais exigente em termos de necessidades de água, e selecionou-se, dentro de cada período, o ano hidrológico com maiores necessidades de água para caracterizar as extrações. Excluiu-se desta análise a cultura da salsa, uma vez que não se preconiza que ela se estenda por uma grande área do Agroparque. Os resultados permitem concluir que, com as extrações realizadas, não há risco de intrusão marinha. No caso do cenário passado, as cotas dos níveis piezométricos (NP) apresentam valores sempre positivos. No caso do cenário futuro, as cotas dos NP apresentam valores negativos junto do limite NNW do Agroparque, com um valor mínimo de -0,25 m; esse valor está próximo de zero e a isolinha da cota dos NP = 0 m circunscreve essa zona, quase completamente ainda dentro do Agroparque. Estes resultados significam que o aquífero tem disponibilidade para satisfazer as necessidades, mesmo no cenário mais exigente (que é o da cultura e do ano com maiores necessidades).

11.2 Recomendações

As **principais recomendações** sobre as águas subterrâneas do aquífero das Terras da Costa são apresentadas seguidamente.

Em termos da **sustentabilidade da qualidade química** das águas subterrâneas – i.e., garantir que a qualidade da água do aquífero respeita as Normas de Qualidade Ambiental (cf. Secção 4.3.1) verifica-se, com base nos resultados das duas campanhas de monitorização realizadas, que extensas áreas apresentam má qualidade da água subterrânea. Os principais contaminantes identificados são os mesmos utilizados na fertilização e, provavelmente, também resultam do funcionamento de fossas sépticas em áreas urbanas dispersas dentro do território agrícola. Nesse contexto, devem ser adotadas medidas que permitam, por um lado, impedir a entrada de novos contaminantes e, por outro, melhorar a qualidade da água atualmente existente.

Para prevenir a contaminação na origem, além das ações já implementadas ou em curso nas áreas urbanizadas, é essencial adotar medidas para reduzir ou eliminar a contaminação gerada pelas práticas agrícolas. Teme-se que **a manutenção das atuais práticas**, onde se regista a lixiviação de excedentes de fertilizantes agrícolas para os solos e águas subterrâneas, **venha a comprometer o futuro desta atividade como consequência da salinização e da alcalização do solo**.

Do conjunto de ações visando o controlo da contaminação na fonte (cf. Secção 9.2), destaca-se a importância de **ações de formação para o uso adequado de fertilizantes e de pesticidas**. Relativamente às soluções para melhorar a qualidade das águas subterrâneas, salienta-se como principal a utilização das águas subterrâneas (já muito ricas em nutrientes) para rega, sem utilização de outra fonte de fertilização, permitindo que as **culturas absorvam os nutrientes em excesso, reduzindo gradualmente suas concentrações na água**. Este procedimento, **associado à recarga natural pela infiltração da água da chuva**, vai permitir, a longo/médio prazo, a melhoria da qualidade das águas subterrâneas. Os mapas de distribuição espacial da concentração de nitratos evidenciam essa dinâmica, mostrando tanto a progressiva migração das áreas mais contaminadas em direção ao mar, conforme os fluxos subterrâneos, como a redução dos níveis de nitratos no cenário modelado.

Em termos da **sustentabilidade quantitativa** das águas subterrâneas, os resultados obtidos pelo estudo mostram que **há disponibilidades de água subterrânea para satisfazer as necessidades de água previstas** para o Agroparque, mesmo no cenário de alterações climáticas mais restritivo adotado, pelo que não são indicadas recomendações.

Por fim, recomenda-se que seja **instalada uma rede de monitorização** com um conjunto de cerca de seis piezómetros, localizados ao longo da área de estudo, para avaliar a evolução da quantidade e da qualidade da água na área. Os piezómetros deverão ser perfurados até cerca de 5 m abaixo do nível piezométrico, de forma a não ficarem secos no verão. Deverão ser instaladas sondas de registo contínuo dos níveis piezométricos e da condutividade elétrica da água, ou feitas campanhas de medição mensais ou semanais, e efetuadas duas campanhas anualmente para recolher amostras de água para análise química. Devem ser recolhidas amostras representativas (após bombear o equivalente a cerca de três vezes o volume saturado no piezómetro, ou até estabilizar os parâmetros pH, e condutividade elétrica). Recomenda-se que sejam feitas análises de, pelo menos, nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{3+}) e dos iões maiores - cloreto (Cl^-), bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}), além de um grupo de pesticidas (p.e., o analisado neste estudo, caso não se verifiquem alterações nas aplicações de pesticidas, decorrentes de uma eventual alteração da ocupação do solo).

Lisboa, LNEC, março de 2025

VISTOS

A Chefe do Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas

Teresa Viseu

A Diretora do Departamento de Hidráulica e Ambiente

Helena Alegre

AUTORIA

Teresa E. Leitão
Investigadora-Coordenadora

Manuel M. Oliveira
Investigador Principal

Tiago N. Martins
Técnico Superior

Maria Emília Novo
Investigadora Auxiliar

Maria José Henriques
Técnica Superior

Referências bibliográficas

ALLER L.; BENNET T.; LEHR J. H.; PETTY R. J., 1987 – **DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings,** U.S. EPA Report 600/2-85/018.

APA, 2021 – **Critérios para a Classificação das Massas de Água**. DRH/DEQA, 2021. https://www.apambiente.pt/sites/default/files/_Agua/DRH/ParticipacaoPublica/PGRH/2022-2027/3_Fase/PGRH_3_SistemasClassificacao.pdf.

BEDEKAR, V.; MORWAY, E.D.; LANGEVIN, C.D.; TONKIN, M., 2016 – **MT3D-USGS version 1: A U.S. Geological Survey release of MT3DMS updated with new and expanded transport capabilities for use with MODFLOW.** U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A53, 69 p., http://dx.doi.org/10.3133/tm6A53.

CARIA, C.G.; OLIVEIRA, M.M.; SILVA, M. C.R., 2013 – **Síntese do Estudo da Recarga de Águas Subterrâneas do Concelho de Almada**. 9.º Seminário Sobre Águas Subterrâneas, Almada, 7 e 8 de março de 2013.

CEDRU; WE CONSULTANTS; IGOT; TIS; ESRI, 2018 – **PMAAC: Plano metropolitano de adaptação às alterações climáticas. Volume I - Definição do cenário base de adaptação para a AML (Área Metropolitana de Lisboa)**. Lisboa.

CEDRU; WE CONSULTANTS; IGOT; TIS; ESRI, 2019 – **PMAAC: Plano metropolitano de adaptação às alterações climáticas. Volume II - Avaliação de impactes e de vulnerabilidades**. Lisboa.

CIABATTI, P. e LOBO FERREIRA, J. P., 1994 – **Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas de Portugal. Análise da Legislação sobre Zonamento de Protecção de Captações de Água Subterrânea. Aplicação a dois Casos de Estudo Portugueses.** Relatório 247/94 – GIAS, LNEC.

COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. (Eds.), 2016 – **Nature-based solutions to address global societal challenges.** IUCN International Union for Conservation of Nature. https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en

DILLON, P.; PAVELIC, P.; PAGE, D.; BERINGEN, H.; WARD, J., 2009 – **Managed aquifer recharge: An introduction.** National Water Commission. https://recharge.iah.org/files/2016/11/MAR_Intro-Waterlines-2009.pdf

DUIJNISVELD, M., 2018 – **Impact of climate and land use changes on groundwater recharge of the Lower Tagus River aquifer systems**. Master thesis Soil Physics and Land Management submitted in partial fulfilment of the degree MSc Earth and Environment at Wageningen University. 136.

FERREIRA, F., 2012 – **Avaliação dos Impactos das Alterações Climáticas nos Aquíferos Costeiros do Concelho de Almada**. Mestrado em Geologia Aplicada, Especialização em Hidrogeologia. FCUL, Lisboa.

FOSTER, S. S. D., 1987 – **Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy**, *in* W. van Duijvanbooden and H.G. van Waegeningh (Eds.), **Vulnerability**

of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information No. 38 of the International Conference held in the Netherlands, in 1987, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands.

GRINSHPAN, M.; FURMAN, A.; DAHLKE, H. E.; RAVEH, E.; WEISBROD, N., 2021 – **From managed aquifer recharge to soil aquifer treatment on agricultural soils: Concepts and challenges.** Agricultural Water Management, 255, 106991. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106991

GUDMUNDSSON, L., BREMNES, J.B., HAUGEN, J.E., ENGEN-SKAUGEN, T., 2012 – **Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods**. Hydrology and Earth System Sciences, 16(9), 3383–3390. https://doi.org/10.5194/hess-16-3383-2012

HARBAUGH, A.W. (2005) – **MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey modular ground-water model -- the Ground-Water Flow Process**. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16. https://pubs.usgs.gov/tm/2005/tm6A16/.

ITGE, 1991 – **Guía Metodológica para la Elaboración de Perímetros de Protección de Captaciones de Aguas Subterráneas.** Madrid, Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Dezembro, 1991.

KEESSTRA, S.; NUNES, J.; NOVARA, A.; FINGER, D.; AVELAR, D.; KALANTARI, Z.; CERDÀ, A., 2018 – **The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services.** Science of The Total Environment, 610–611, 997–1009. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.077

LEVINTAL, E., KNIFFIN, M. L., GANOT, Y., MARWAHA, N., MURPHY, N. P., & DAHLKE, H. E., 2023 – **Agricultural managed aquifer recharge (Ag-MAR)—a method for sustainable groundwater management: A review.** Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 53(3), 291–314. https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2050160

LOBO FERREIRA, J.P., 1981, 1982 – **Mathematical Model for the Evaluation of the Recharge of Aquifers in Semiarid Regions with Scarce (Lack) Hydrogeological Data**. Proceedings of Euromech 143/2-4 Setp. 1981, Rotterdam, A.A. Balkema (Ed. A. Verruijt e F.B.J. Barends). Também: 1982, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Memória n.º 582.

LOBO FERREIRA, J. P. e CABRAL, M. C., 1991 – **Proposal for an Operational Definition of Vulnerability for the European Community's Atlas of Groundwater Resources**. Bruxelas, Instituto Europeu da Água, 1991.

LOBO FERREIRA, J.P.; LEITÃO, T.E.; OLIVEIRA, M.M.; ROCHA, J.S.; BARBOSA, A.E., 2009 – **Protecção das Origens Superficiais e Subterrâneas nos Sistemas de Abastecimento de Água.** Série de Guias Técnicos do Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Guia Técnico n. º 11. IRAR. Lisboa. ISBN: 978-989-95392-6-6

ME, 2011 – **Groundwater and Sediment Standards for Use Under Part XV.1 of the Environmental Protection Act**. Ministry of the Environment April 15, 2011.

NOVO, M.E.; MARTINS, T.; HENRIQUES, M.J.; 2002 – **BINGO Project: Impacts of Climate Change in Groundwater in the Lower Tagus. Coupling outputs from climate and recharge models with aquifer modelling**. LNEC, Lisboa, fevereiro 2020.

OLIVEIRA, M.M., 2004, 2006 – **Recarga de águas subterrâneas: Métodos de avaliação**. Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia), Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, 440 pp., 2004. Também: Teses e Programas de Investigação - TPI 42, ISBN 972-49-2093-3, Editora LNEC, 2006.

OLIVEIRA, M.M.; OLIVEIRA, L.; LOBO FERREIRA, J.P., 2008 – **Estimativa da recarga natural no sistema aquífero de Querença-Silves (Algarve) pela aplicação do modelo BALSEQ_MOD**. 9.º Congresso da Água. 2 a 4 de abril de 2008.

SIMÕES, M., 1998 – **Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo**. Dissertação para obtenção do grau de doutor em Geologia, na especialidade de Hidrogeologia. Universidade Nova de Lisboa.

SIMÕES, M., 2004 – **Hidrogeologia do Concelho de Almada. Inventário e Qualidade das Águas Subterrâneas**. Câmara Municipal de Almada, Centro de Estudos Geológicos da FCT/UNL.

VAN SEEMPVOORT, D.; EWERT, L.; WASSENAAR, L., 1992 – **AVI: A Method for Groundwater Protection Mapping in the Prairie Provinces of Canada. PPWD pilot project, Sept. 1991 – March 1992.** Groundwater and Contaminants Project, Environmental Sciences Division, National Hydrology Research Institute. p. 23.

VROM, 2000 – **Dutch Target and Intervention Values**. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 2000.

WINSTON, R.B. (2024) – **ModelMuse version 5.3**. U.S. Geological Survey Software Release, 1 August 2024, https://doi.org/10.5066/P1AZMVXV.

ZHANG, H., XU, Y., & KANYERERE, T., 2020 – **A review of the managed aquifer recharge: Historical development, current situation and perspectives.** Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 118–119, 102887. https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102887

ANEXOS

ANEXO I
Síntese da prospeção geofísica

Este anexo é uma síntese do trabalho desenvolvido por Ferreira (2012). A prospeção geofísica das resistividades elétricas foi feita na área assinalada na Figura A. 1 utilizando o *Transient Electromagnetic Method* (TEM), tendo atingido os 25 a 30 m de profundidade. O autor realizou cinco perfis orientados perpendicularmente à linha de costa, todos sitos a Sul da Costa da Caparica.

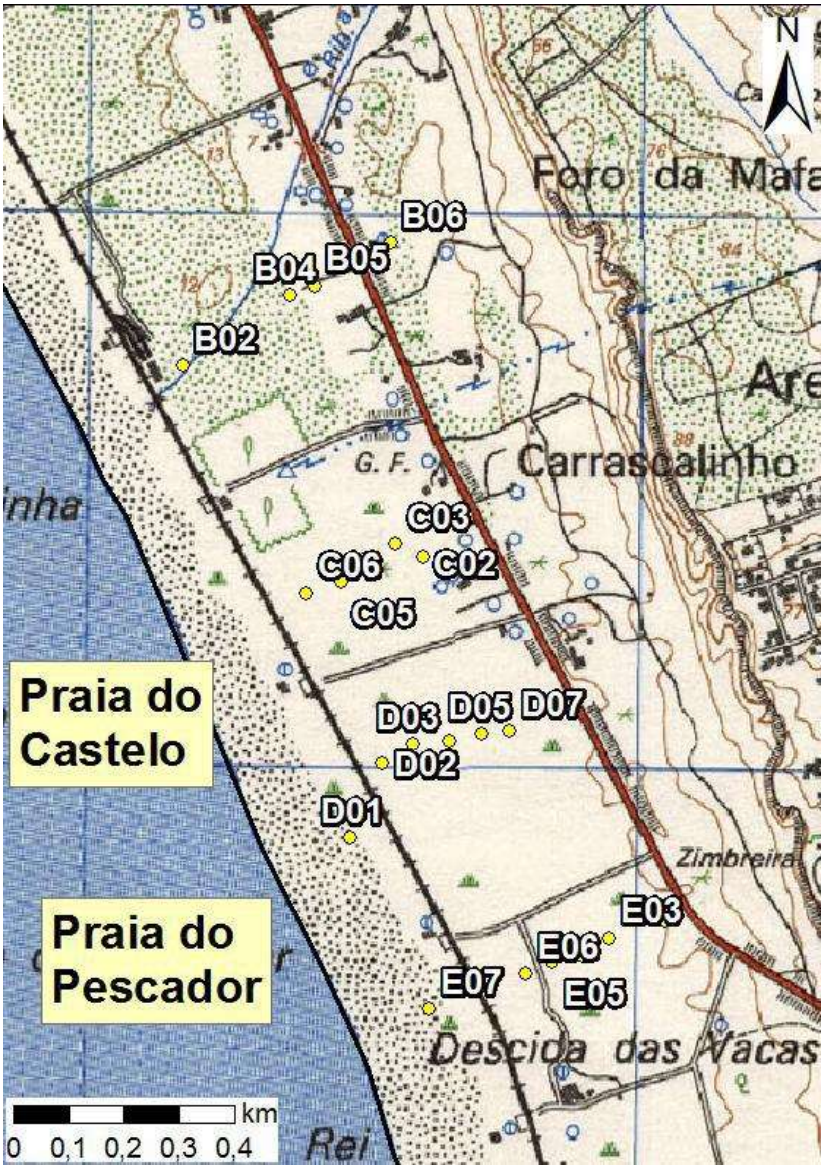


Figura A. 1 – Localização dos perfis geofísicos (Fonte: Ferreira, 2012)

Da análise dos perfis B, C, D e E, ilustrados na Figura A. 2 à Figura A. 5, Ferreira (2012) definiu, com base no contraste de resistividades eletromagnéticas, sete zonas (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6 e Z7). A interpretação dos logs de sondagens de captações na zona de estudo, realizada por este autor, identifica a ocorrência de uma formação de areias com 20 metros de espessura, sobrejacente a formações carbonatadas do Miocénico. Considerando as indicações dos perfis geofísicos, os logs de sondagens e os valores de resistividades da água subterrânea (0,5 – 300 ohm.m) e da água do mar 0,2 ohm.m, Ferreira (2012) definiu as seguintes características para as sete zonas:

- **Zonas Z1** (resistividade de 20 a 50 ohm.m; representada por tons verdes na Figura A. 2 e Figura A. 3) – podem ser zonas de água muito mineralizada, que poderão dever-se à presença de águas contaminadas por nitratos e por sulfatos.
- **Zonas Z2** (resistividades elevadas: 200 a 1000 ohm.m; representadas a tons amarelo-torrado e vermelho na Figura A. 2 à Figura A. 5) – podem representar acumulações de areias secas de duna e de praia. As espessuras entre 12 e 18 m coincidem com a informação dos logs geológicos da ARH Tejo.
- **Zonas Z3** (resistividades de 0,1 a 0,5 ohm.m; representadas em tons azuis escuros na Figura A. 2, Figura A. 3 e Figura A. 5) – sugerem a presença de argilas, que poderão corresponder às argilas e margas do Miocénico, o que também é indiciado pelos logs geológicos.
- **Zonas Z4** (resistividades de 0,5 a 4 ohm.m; representada por tons de azul mais claro na Figura A. 2 à Figura A. 5) – sugerem a ocorrência de água pouco mineralizada nas formações de argilas e margas e, dada a localização e geometria destas zonas, podem representar a ascensão vertical de águas através de zonas de fratura a funcionar como zonas de descarga de um aquífero confinado a semiconfinado cujo nível piezométrico estará acima da base das areias. O facto destas zonas, verticais, mudarem de posição perfil para perfil, definindo um alinhamento NW-SE (Figura A. 5) paralelo à arriba Fóssil da Costa da Caparica mais reforça esta suposição. No perfil C (Figura A. 3) parecem existir duas zonas de ascensão de água doce, ocorrendo a mais intensa na área da sondagem C06 (Figura A. 3).
- **Zona Z5** (resistividades de 100 a 300 ohm.m; representadas por tons amarelos e amarelo-torrados) – ocorre apenas no perfil E (Figura A. 5), podendo indicar uma zona de recarga das areias por água pouco mineralizada e que, dado o seu alinhamento vertical com uma zona Z4, possa dever-se à ascensão de água na zona de fratura representada por esta zona Z4.
- **Zona Z6** (resistividades entre 0,5 e 1,0 ohm.m, representada em tons de azul) – ocorre apenas no perfil E (Figura A. 5) na zona da praia do Pescador, sugere a ocorrência de intrusão marinha, que assim sendo ocorrerá na base das areias e topo da formação de argilas e margas miocénicas.
- **Zona Z7** (resistividades entre 3 e 4 ohm.m e de 200 a 300 ohm.m; representada a tons de azul claro e de laranja) – ocorre apenas no perfil E (Figura A. 5) podendo dever-se à recarga através da arriba fóssil.

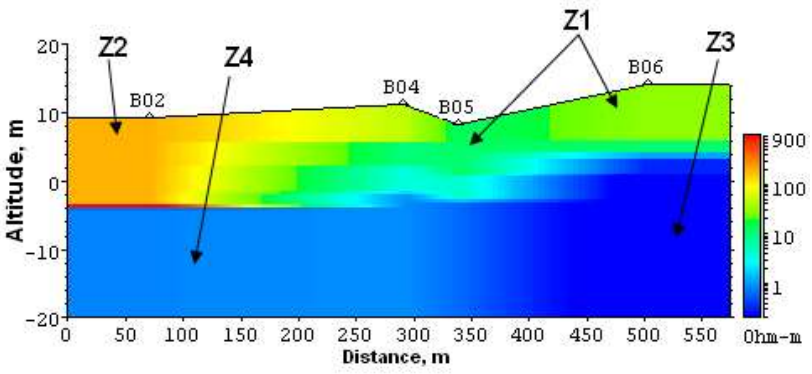


Figura A. 2 – Perfil geofísico B (Fonte: Ferreira, 2012)

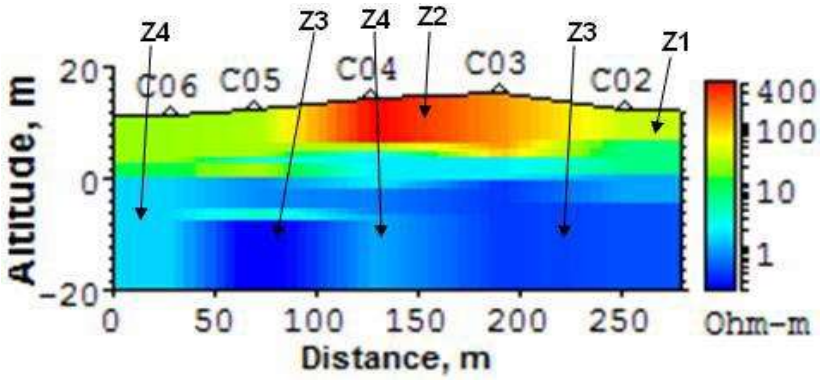


Figura A. 3 – Perfil geofísico C (Fonte: Ferreira, 2012)

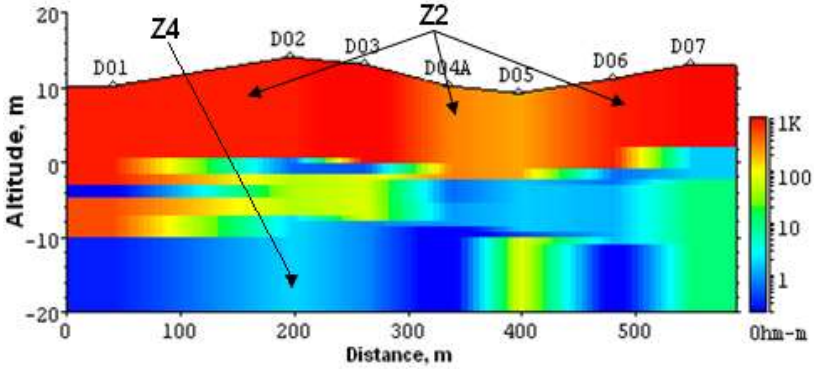


Figura A. 4 – Perfil geofísico D (Fonte: Ferreira, 2012)

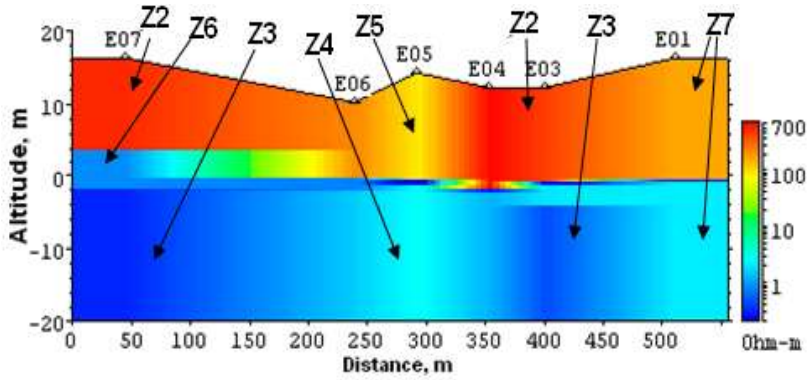


Figura A. 5 – Perfil geofísico E (Fonte: Ferreira, 2012)

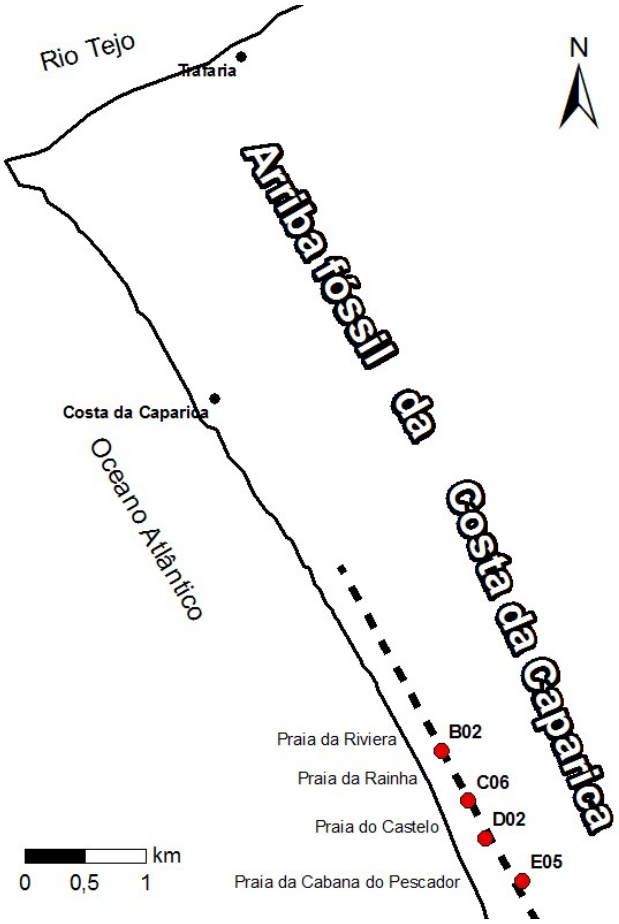


Figura A. 6 – Alinhamento definido pelas sondagens geofísicas (pontos a vermelho) que poderá controlar a ascensão de águas subterrâneas através de fraturas (Fonte: Ferreira, 2012)

ANEXO II
Resultados das análises químicas das 59 amostras de águas subterrâneas

	Poço	P133		P134		P147		P148		P167		P171		P176		P178		P185		P188		P199		P202		P300		P301	
Parâmetro	Data	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24
Temperatura	°C	19.50	19.60	17.20	19.40	16.80	18.60	17.80	18.40	16.00	19.70	18.00	20.10	18.70	21.30	19.50	18.90	18.20	17.10	16.10	19.20	16.10	18.30	16.50	17.40	19.50	18.50	18.80	18.60
CE	µS/cm	2269	2280	1518	1781	939	1191	844	763	1871	3029	2166	1911	4519	5247	2903	2980	3288	2952	901	898	563	613	1081	1345	5034	4768	6368	6142
pH	-	7.23	7.47	7.34	7.18	8.12	7.15	8.11	7.76	8.05	7.32	7.50	7.68	7.08	6.85	7.10	6.97	7.94	7.69	7.51	7.45	7.71	7.80	7.37	7.40	6.94	6.78	6.98	6.80
Eh	mV	92.4	126.8	99.1	124.8	97.7	126.3	85.0	116.5	91.7	140.8	89.4	116.1	80.5	147.2	81.1	129.8	77.9	99.4	82.4	139.7	75.1	123.4	79.1	20.2	93.3	136.3	98.9	133.3
DO	mg/L	4.89	6.08	3.29	4.63	4.94	2.07	5.56	5.48	9.41	-	4.29	3.95	2.10	2.55	1.61	2.61	5.03	2.98	2.09	4.66	5.00	5.51	1.96	6.81	3.12	2.44	3.73	4.66
Iões maiores																													
K^+	mg/L	19.5	19.8	18.8	20.9	22.1	20.0	10.3	9.7	19.7	36.8	41.6	36.1	30.6	28.1	16.6	16.0	18.1	15.7	8.6	8.4	4.9	5.8	13.0	15.8	6.3	7.1	24.7	28.3
Ca^{2+}	mg/L	282.0	296.0	197.0	219.0	128.0	163.0	100.0	96.3	230.0	603.0	277.0	237.0	621.0	731.0	356.0	466.0	437.0	424.0	120.0	126.0	100.0	111.0	148.0	197.0	672.0	675.0	706.0	757.0
Mg^{2+}	mg/L	45.7	44.8	30.5	34.1	15.3	19.4	16.4	13.3	37.0	80.3	38.5	31.6	88.0	99.1	54.4	60.4	68.0	63.8	12.0	12.4	8.1	8.3	16.8	20.7	117.0	123.0	152.0	169.0
Na^+	mg/L	174.0	174.0	123.0	130.0	65.1	83.4	70.7	54.4	150.0	353.0	154.0	133.0	374.0	410.0	208.0	218.0	288.0	261.0	53.6	56.6	20.1	23.2	79.5	100.0	509.0	497.0	632.0	642.0
Cl^-	mg/L	329.0	322.0	224.0	256.0	96.4	120.0	106.0	87.6	198.0	575.0	258.0	187.0	695.0	732.0	397.0	360.0	552.0	436.0	101.0	93.2	34.0	39.6	130.0	163.0	784.0	785.0	1190.0	1120.0
HCO_3^-	mg/L	318.0	321.0	355.0	350.0	330.0	382.0	284.0	253.0	157.0	363.0	311.0	299.0	329.0	330.0	411.0	383.0	418.0	475.0	311.0	300.0	319.0	314.0	339.0	376.0	413.0	428.0	386.0	376.0
SO_4^{2-}	mg/L	485.0	454.0	245.0	284.0	87.8	100.0	68.5	54.8	430.0	1020.0	513.0	413.0	1140.0	1240.0	609.0	680.0	752.0	689.0	66.7	60.3	18.8	21.4	170.0	203.0	1280.0	1370.0	1630.0	1590.0
NO_3^-	mg/L	218.0	206.0	107.0	130.0	97.4	110.0	44.8	48.0	186.0	574.0	228.0	174.0	727.0	796.0	391.0	448.0	319.0	262.0	94.8	84.5	18.1	23.8	47.7	68.0	429.0	378.0	532.0	539.0
CO_3^-	mg/L		<0		<0		<0		2.30		<0		<0		<0		<0		1.15		1.63		3.65		<0		<0		<0
Metais																													
Cd	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Cr	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.00	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.00	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cu	mg/L	0.0129	0.0189	0.0066	0.0184	0.0057	0.0016	0.0064	0.0062	0.0036	0.0056	0.0149	0.0114	0.0051	0.0082	0.0021	0.0033	0.0116	0.0088	0.0413	0.0748	0.0213	0.0217	0.0019	0.0136	0.0170	0.0302	0.0024	0.0063
Fe	mg/L	0.179	0.084	<0.002	0.022	0.003	0.012	0.004	0.011	0.023	<0.002	0.004	0.008	0.006	0.011	0.003	0.013	0.120	0.031	<0.002	0.016	0.006	0.010	0.096	1.120	0.015	0.017	<0.004	<0.010
Li	mg/L	0.016	0.017	0.006	0.008	0.008	0.009	0.009	0.007	0.011	0.017	0.010	0.011	0.021	0.024	0.010	0.009	0.011	0.011	0.003	0.004	0.007	0.008	0.002	0.005	0.056	0.057	0.051	0.071
Ni	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.00	<0.002	<0.002	<0.002	0.00	0.00	<0.002	0.00	0.00	<0.002	0.00	0.00	0.00	<0.002	0.00	<0.002	<0.002	<0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
V	mg/L	0.0022	0.0022	0.0022	0.0026	0.0032	0.0029	0.0038	0.0038	0.0017	0.0018	0.0012	0.0017	0.0015	0.0015	0.0039	0.0041	0.0042	0.0037	0.0021	0.0020	0.0035	0.0036	0.0010	0.0012	0.0015	0.0015	0.0014	0.0016
Zn	mg/L	0.045	0.060	0.029	0.053	0.013	0.002	0.021	0.008	0.041	0.040	0.095	0.064	0.015	0.054	0.002	0.003	0.028	0.027	0.040	0.125	0.086	0.069	0.158	0.494	0.060	0.036	0.007	0.067
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTP)																													
TPH	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucliares (HAP)																													
Acenafteno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Acenaftileno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Antraceno	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo(a)antraceno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo(a)pireno	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo(g,h,i)perileno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Criseno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Fenantreno	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	<0.03	0.04	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.04	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	0.05	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Fluoranteno	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Fluoreno	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Indeno(1,2,3-cd)pireno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Naftaleno	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Pireno	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Pesticidas																													
AMPA	µg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	0.15	0.06	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Bentazona	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.35	0.19	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Clorpirifos	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Desetilsimazina	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Desetilterbutilazina	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Dimetenamida-P	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Diurão	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Glifosato	µg/L		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1
Glufosinato de amónio	µg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<0.05	<0.05
Imidaclopride	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
M656PH051	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Metalaxil	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Metribuzina	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.15	0.20	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Simazina	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Terbutilazina	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03

	Poço	P302		P303	P304	P305		P307		P308		P310		P311		P312	PA136		PA138		PA160		PA165		PA169		PA303	PA304	PA306		PA309	
Parâmetro	Data	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24	mai-24	dez-23	dez-23	mai-24	dez-23	mai-24
Temperatura	°C	18.60	19.60	19.90	19.20	17.10	20.20	19.20	23.10	16.60	17.50	18.70	20.80	19.10	20.20	17.90	16.40	17.90	18.50	16.12	18.80	18.80	17.60	18.50	18.70	19.30	17.30	16.20	18.90	20.02	19.70	19.90
CE	µS/cm	3099	3057	4689	5202	4833	6541	2213	2509	807	785	1690	1290	5801	5940	1560	1629	1560	2066	2012	7050	7347	2326	2526	1571	1643	3340	3760	2073	2168	1374	1305
pH	-	7.11	6.90	7.25	7.15	7.01	6.81	7.20	7.03	7.81	7.47	7.36	7.42	7.30	7.20	7.23	7.50	7.23	7.67	7.39	7.29	7.25	7.44	7.08	7.95	7.55	7.69	7.26	7.10	6.95	7.37	7.15
Eh	mV	89.1	120.2	90.8	128.0	101.1	139.3	96.0	115.2	91.2	110.8	89.3	125.3	92.4	118.7	196.7	86.8	106.7	-129.9	-210.8	95.1	130.8	84.0	123.4	84.9	142.0	125.0	86.7	102.4	126.1	76.9	74.1
DO	mg/L	4.21	3.85	4.25	5.57	6.64	6.24	2.16	4.55	4.84	5.05	2.29	5.11	5.66	5.83	2.65	2.36	2.55	1.24	3.13	5.29	5.36	2.50	1.80	2.38	6.63	5.15	1.53	3.47	4.90	1.24	2.56
Iões maiores																																
K^+	mg/L	14.4	15.8	34.0	21.8	17.6	17.6	21.4	23.0	9.2	6.1	40.5	23.4	20.5	18.3	11.6	41.1	34.5	32.5	34.9	14.8	17.1	30.0	33.4	25.7	25.0	53.5	35.6	6.8	7.3	20.4	20.4
Ca^{2+}	mg/L	413.0	411.0	607.0	798.0	598.0	804.0	285.0	310.0	97.1	108.0	183.0	147.0	709.0	766.0	57.1	167.0	162.0	259.0	238.0	889.0	1050.0	294.0	354.0	188.0	198.0	474.0	529.0	266.0	291.0	198.0	194.0
Mg^{2+}	mg/L	61.5	63.1	89.1	117.0	102.0	135.0	45.4	45.6	15.9	15.8	35.8	27.0	147.0	156.0	7.3	41.8	34.5	46.2	47.4	156.0	176.0	41.5	47.4	28.1	29.6	61.5	76.5	44.8	46.5	19.5	17.6
Na^+	mg/L	237.0	241.0	299.0	445.0	492.0	590.0	167.0	174.0	54.2	54.5	131.0	96.5	508.0	536.0	35.2	164.0	146.0	210.0	220.0	631.0	708.0	152.0	191.0	126.0	135.0	262.0	316.0	166.0	167.0	76.9	74.9
Cl^-	mg/L	443.0	421.0	630.0	757.0	816.0	937.0	301.0	307.0	93.9	82.6	244.0	157.0	1020.0	758.0	58.2	301.0	273.0	353.0	380.0	1150.0	1170.0	264.0	305.0	173.0	173.0	432.0	598.0	356.0	335.0	131.0	117.0
HCO_3^-	mg/L	410.0	418.0	337.0	349.0	311.0	375.0	372.0	371.0	318.0	322.0	336.0	338.0	371.0	348.0	172.0	316.0	316.0	593.0	554.0	276.0	273.0	309.0	308.0	400.0	402.0	334.0	324.0	428.0	419.0	359.0	367.0
SO_4^{2-}	mg/L	847.0	711.0	1420.0	1530.0	1190.0	1650.0	444.0	446.0	83.0	77.1	186.0	112.0	1520.0	1540.0	38.2	348.0	300.0	381.0	350.0	1840.0	1860.0	590.0	598.0	216.0	228.0	813.0	1140.0	353.0	356.0	170.0	149.0
NO_3^-	mg/L	250.0	256.0	640.0	617.0	492.0	606.0	245.0	251.0	<2	<2.00	214.0	100.0	578.0	621.0	3.4	<2	<2.00	<2	<2.00	1210.0	1290.0	326.0	336.0	137.0	146.0	438.0	512.0	98.1	88.4	171.0	141.0
CO_3^-	mg/L		<0		<0		<0		<0		2.78		1.34		<0	<0		<0		3.55		<0		1.06		5.28	<0			<0		<0
Metais																																
Cd	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Cr	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.00	0.00	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cu	mg/L	0.0032	0.0032	0.0055	0.0050	0.0119	0.0111	0.0050	0.0027	0.0035	0.0037	0.0090	0.0231	0.0026	0.0069	0.0017	0.0014	<0.005	<0.005	<0.002	0.0040	0.0036	0.0029	0.0022	0.0190	0.0088	0.0245	0.0787	0.0044	0.0217	0.0031	0.0088
Fe	mg/L	<0.002	0.004	0.011	0.004	0.014	0.026	0.004	<0.002	0.097	0.040	<0.002	<0.002	0.009	0.012	0.113	0.108	0.097	0.119	0.052	0.014	0.011	0.003	0.007	0.054	0.007	0.136	0.097	0.005	0.018	<0.002	0.007
Li	mg/L	0.050	0.054	0.024	0.033	0.040	0.039	0.020	0.019	0.005	0.006	0.008	0.004	0.076	0.093	0.021	0.048	0.055	0.013	0.015	0.034	0.041	0.008	0.010	0.012	0.011	0.023	0.018	0.038	0.036	0.003	0.003
Ni	mg/L	<0.002	<0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	<0.002	<0.002	0.01	0.00	<0.002	<0.002	0.00	0.00	<0.002	<0.002	0.00	0.00	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.00	0.00	0.01	0.00	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Pb	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
V	mg/L	0.0018	0.0019	0.0037	0.0022	0.0011	0.0012	0.0023	0.0024	<0.001	<0.001	0.0023	0.0011	0.0016	0.0013	0.0013	<0.001	<0.001	0.0010	<0.001	0.0013	0.0015	0.0034	0.0036	0.0028	0.0028	0.0028	0.0013	0.0015	0.0016	0.0020	0.0017
Zn	mg/L	0.010	0.012	0.006	0.004	0.058	0.051	0.020	0.016	0.020	0.007	0.015	0.064	0.027	0.053	0.010	0.046	0.028	0.033	0.022	0.009	0.008	0.027	0.015	0.036	0.019	0.087	0.467	0.006	0.053	0.010	0.040
Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTP)																																
TPH	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.30	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.19	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucliares (HAP)																																
Acenafteno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Acenaftileno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Antraceno	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo(a)antraceno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo(a)pireno	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo(g,h,i)perileno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Criseno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Fenantreno	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.09	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.19	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Fluoranteno	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.05	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.07	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Fluoreno	µg/L	<0.02	<0.02	<0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Indeno(1,2,3-cd)pireno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Naftaleno	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.12	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Pireno	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Pesticidas																																
AMPA	µg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.60	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Bentazona	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	0.28	0.23	0.34	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.12	0.58	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Clorpirifos	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Desetilsimazina	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Desetilterbutilazina	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	0.03	0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Dimetenamida-P	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Diurão	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Glifosato	µg/L		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1	<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1		<0.1	<0.1			<0.1		<0.1
Glufosinato de amónio	µg/L	<0.05	0.11	<0.05	<0.05	<0.05	0.19	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.38	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Imidaclopride	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
M656PH051	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Metalaxil	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Metribuzina	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	1.41	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Simazina	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Terbutilazina	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03

ANEXO III
Preenchimento das lacunas de dados das séries de precipitação e das séries meteorológicas necessárias para o cálculo da evapotranspiração de referência

A.III.1 Precipitação

Para a caracterização da série de precipitação diária da área em estudo fez-se o preenchimento das lacunas da estação 22B/01C-Monte da Caparica utilizando os dados da estação do Instituto Dom Luiz (IDL), disponíveis em http://dados-met-idl.campus.ciencias.ulisboa.pt/index/, com dados até 11 de março de 2020, e, na ausência de informação desta última estação, com dados de precipitação registados na estação 21A/11G-Cascais, também disponíveis no SNIRH, com dados a partir de 1 de julho de 1989, e que foram utilizados para preencher as lacunas posteriores a 11 de março de 2020.

Os registos da estação 22B/01C-Monte da Caparica iniciam-se em 1 de maio de 1985, apresentando a estação outras lacunas de dados. Na realidade apenas existem dados diários para 67 % do período em estudo, pelo que houve que recorrer a estações vizinhas para o seu preenchimento. A estação IDL, com registos para 91 % dos dias, foi a estação mais próxima e aquela com a qual a estação de Monte da Caparica apresentou maior coeficiente de correlação linear (88 %) entre os valores de precipitação diária, razão pela qual foi a estação selecionada.

Uma vez que ocorrem muitos dias em que a precipitação é nula numa das estações e não nula na outra, selecionaram-se os pares de valores em que a precipitação era não nula nas duas estações para se estabelecer uma fórmula de preenchimento da série de Monte da Caparica. Utilizando estes pares de valores, a Figura A. 7, mostra três relações em cada um dos gráficos, (1) a reta de regressão linear, a preto (y = a . x + b), (2) a reta de regressão linear sem termo de interseção, ou seja que passa obrigatoriamente pela ponto (0, 0), a azul, (y = a . x), e (3) a reta que passa pelo ponto (0, 0) cujo pendor é a relação entre os valores de precipitação acumulada nas duas estações (considerando apenas os pares de valores com precipitação superior a zero nas duas estações), a vermelho (y = sumY / sumX . x).

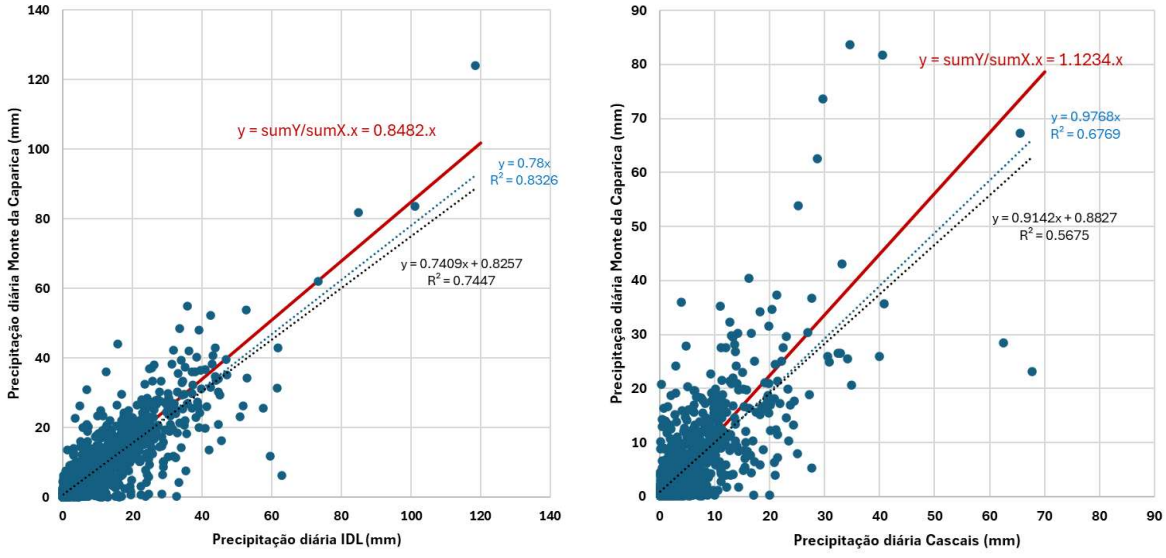


Figura A. 7 – Correlações entre as precipitações diárias da estação de Monte da Caparica e a do IDL (à esquerda) e a de Cascais (à direita)

Para o preenchimento das lacunas na estação de Monte da Caparica utilizou-se a relação entre os valores de precipitação acumulada nas duas estações, ou seja:

$$Pd_{(Monte\ da\ Caparica)} = [Soma\ Pd_{(Monte\ da\ Caparica)}] / [Soma\ Pd_{(IDL)}] \ .\ Pd_{(IDL)} = 0{,}8482 \ .\ Pd_{(IDL)}$$

E, no caso de ausência de dados de Pd (precipitação diária), na estação IDL:

$$Pd_{(Monte\ da\ Caparica)} = [Soma\ Pd_{(Monte\ da\ Caparica)}] / [Soma\ Pd_{(Cascais)}] \ .\ Pd_{(Cascais)} = 1{,}1234 \ .\ Pd_{(Cascais)}$$

Notam-se alguns períodos de incongruência entre os dados registados no IDL e em Monte da Caparica, principalmente nos períodos de 17/04/2008 a 21/04/2008, 27/02/2018 a 30/04/2018, 29-9-2008 a 31-3-2009, 15-5-2011 a 31-1-2012, 19-10-2012 a 2912015, altura em que se registaram precipitações elevadas na estação do IDL e valores muito baixos ou nulos em Monte da Caparica. Para verificar esta situação, confrontaram-se os valores mensais disponíveis no site do IPMA em Setúbal, Lisboa (IDL) e Santarém, verificando-se que estas estações apresentam valores mensais significativos nestes períodos, ao contrário de Monte da Caparica. Sendo assim, optou-se por se considerar os dados do Monte da Caparica errados tendo sido estimados a partir da estação do IDL usando a relação acima. Também foi detetado um período com precipitação anómala em Monte da Caparica entre 29/04/2019 e 18/06/2019, que foi alvo de estimação da mesma forma.

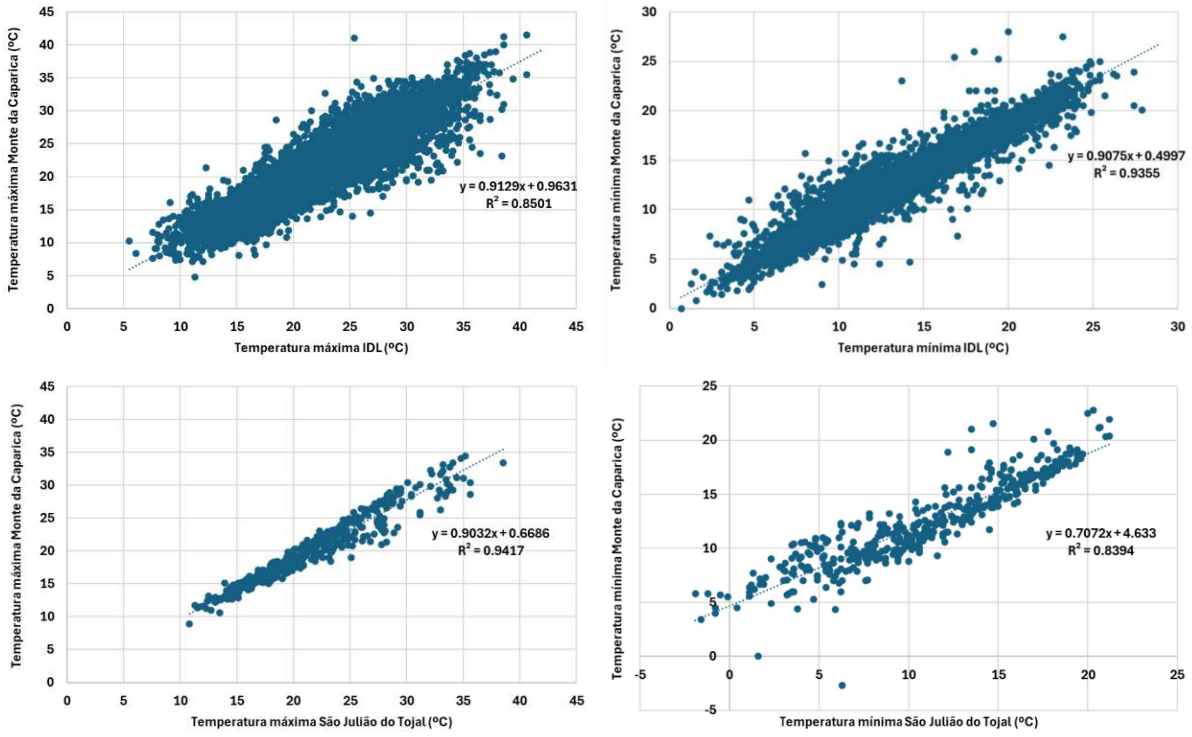
A.III.2 Dados meteorológicos para cálculo da evapotranspiração de referência

Temperatura máxima e mínima

As lacunas de dados diários de temperatura máxima e de temperatura mínima na estação 22B/01C-Monte da Caparica, que representam 25 % das séries, foram preenchidas, em primeiro lugar, a partir da estação do IDL e, na ausência de dados nesta estação, a partir das estações do SNIRH 20C/01C-São Julião do Tojal ou, por último, 20D/01C-Vila Franca de Xira (Lezíria).

As correlações e equações de regressão lineares encontradas entre cada par de estações estão representadas na Figura A. 8. Em resumo, foram utilizadas, por ordem de existência de dados, as seguintes equações:

- Para a temperatura máxima (Tmax):
  - $Tmax_{(Monte\ da\ Caparica)} = 0{,}9129 \cdot Tmax_{(IDL)} + 0{,}9631$
  - $Tmax_{(Monte\ da\ Caparica)} = 0{,}9032 \cdot Tmax_{(São.Julião\ do\ Tojal)} + 0{,}6686$
  - $Tmax_{(Monte\ da\ Caparica)} = 0{,}9011 \cdot Tmax_{(Vila\ Franca\ de\ Xira\ (Lezíria))} + 1{,}0698$
- Para a temperatura mínima (Tmin):
  - $Tmin_{(Monte\ da\ Caparica)} = 0{,}9075 \cdot Tmin_{(IDL)} + 0{,}4997$
  - $Tmin_{(Monte\ da\ Caparica)} = 0{,}7072 \cdot Tmin_{(São.Julião\ do\ Tojal)} + 4{,}633$
  - $Tmin_{(Monte\ da\ Caparica)} = 0{,}7636 \cdot Tmin_{(Vila\ Franca\ de\ Xira\ (Lezíria))} + 4{,}0516$



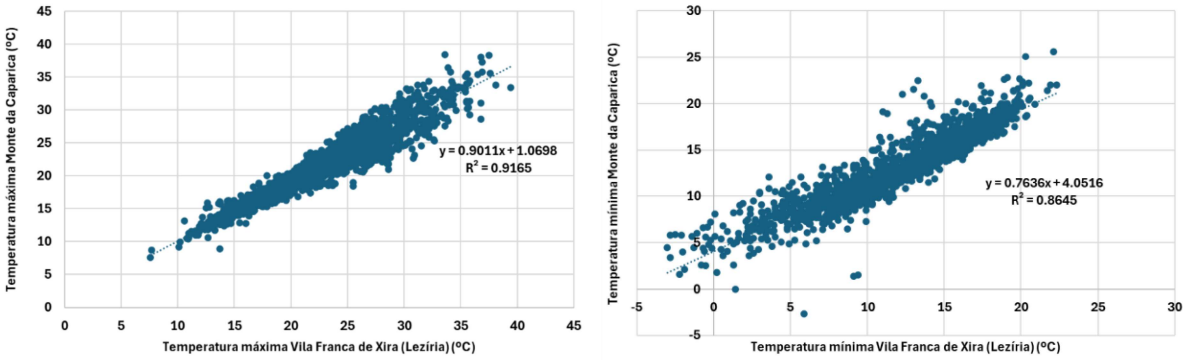


Figura A. 8 – Correlações e regressões lineares entre a estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica e as estações do IDL (em cima), 20C/01C-São Julião do Tojal (ao meio) e 20D/01C-Vila Franca de Xira (Lezíria) (em baixo), utilizadas no preenchimento de lacunas de séries diárias da temperatura máxima (lado esquerdo) e da temperatura mínima (lado direito)

As Figura A. 9 e Figura A. 10 mostram, respetivamente, as séries de temperaturas máxima e mínima diárias obtidas por estes procedimentos.

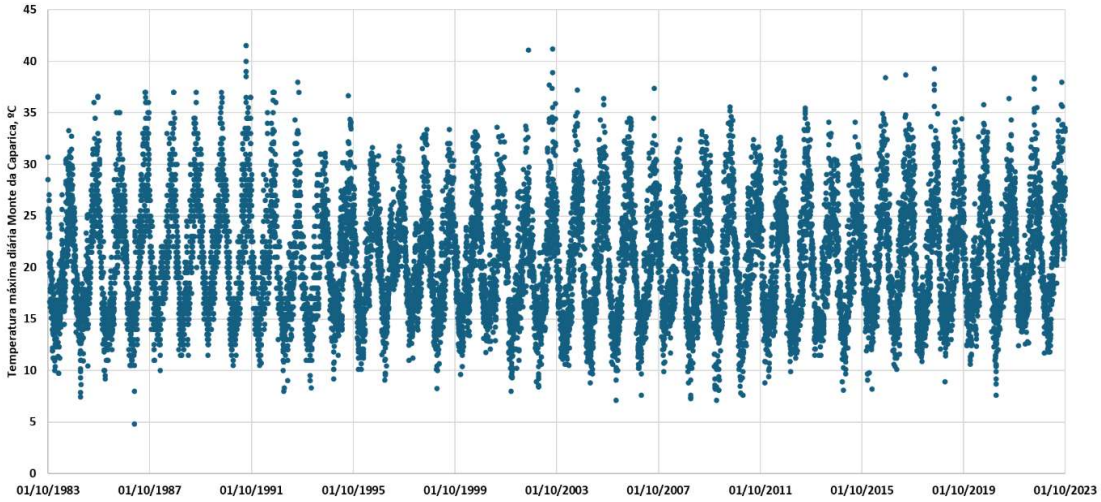


Figura A. 9 – Série de temperatura máxima diária obtida na estação meteorológica de Monte da Caparica

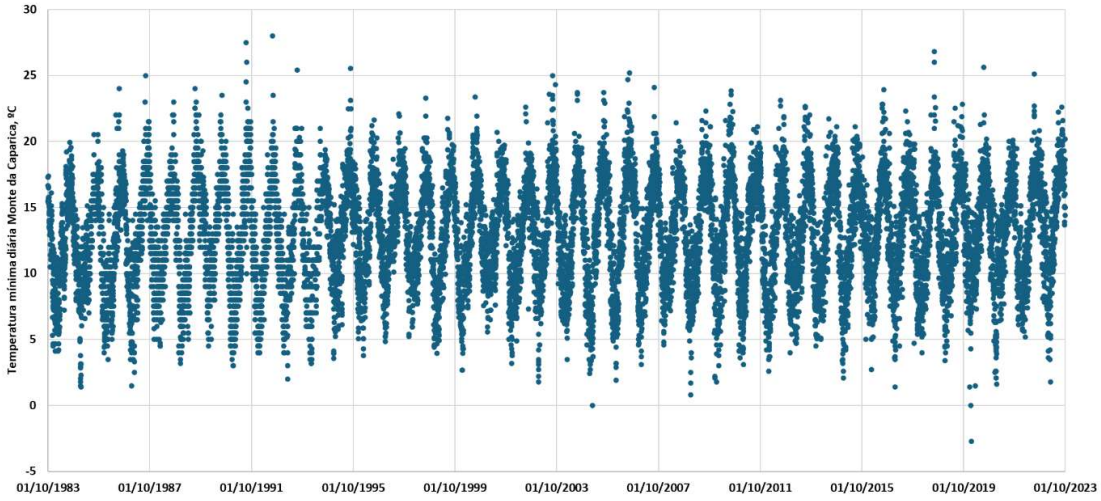


Figura A. 10 – Série de temperatura mínima diária obtida na estação meteorológica de Monte da Caparica

Humidade relativa máxima e mínima

A estação 22B/01C-Monte da Caparica apresenta maiores lacunas de dados de humidade relativa (49 %) do que de temperatura. Embora se tenha procurado utilizar uma metodologia semelhante à da temperatura para procurar correlação e boas regressões lineares com várias estações meteorológicas, os resultados foram fracos, principalmente para a humidade relativa máxima, sendo que o maior problema foi que, nalguns dias, as fórmulas de regressão encontradas conduziam a valores de humidade relativa máxima inferior à humidade relativa mínima.

Assim, a abordagem para o preenchimento das séries seguiu dois passos:

- Utilizar diretamente os valores de humidade relativa, máxima e mínima, registados em estações mais próximas para as quais havia informação, tendo-se utilizado as seguintes estações pela ordem indicada, até haver informação: IDL, 20C/01C-São Julião do Tojal, ou 20D/01C-Vila Franca de Xira (Lezíria).
- Quando não foi possível preencher com estes valores optou-se por utilizar uma equação parabólica (Figura A. 11), desenvolvida com os dados registados em 22B/01C--Monte da Caparica, em função do dia do ano:
    - Humidade relativa mínima (%) = 0,0007 . D^2 – 0,2532 . D + 71,669
    - Humidade relativa máxima (%) = 0,0002 . D^2 – 0,0872. D + 95,386

  onde D é o dia do ano desde 1 de janeiro. Estas equações, obtidas por regressão linear parabólica, apresentaram coeficientes de correlação insignificantes, não sendo por isso interessantes. Não havendo melhor informação, são utilizadas para preencher as lacunas remanescentes, incluindo um longo período inicial, até 2001/02/06.

As Figura A. 12 e Figura A. 13 mostram, respetivamente, as séries de humidade relativa máxima e mínima diárias obtidas por estes procedimentos.

Note-se que, apesar da quase metade das séries de humidade relativa máxima e mínima diárias terem sido estimadas, o seu impacto no cálculo da evapotranspiração, e principalmente na recarga de águas subterrâneas, não é significativo.

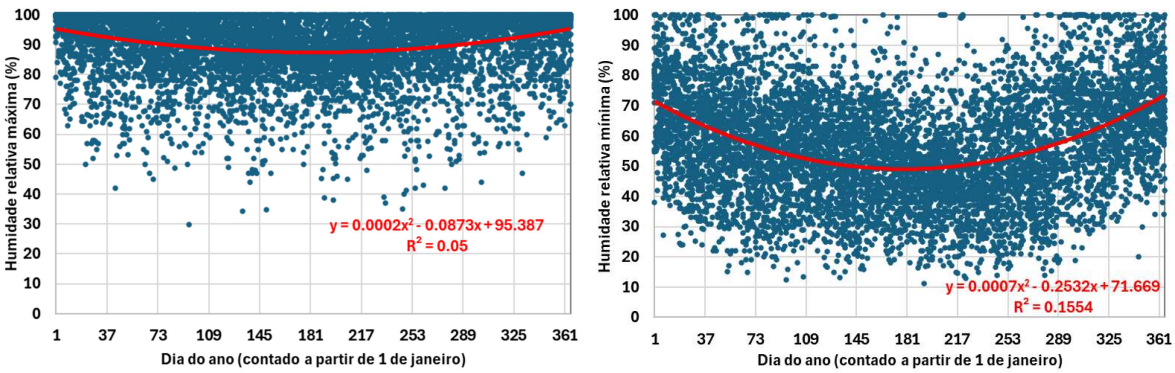


Figura A. 11 – Equações parabólicas que relacionam as humidades relativas máxima (lado esquerdo) e mínima (lado direito) registadas na estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica com o dia do ano

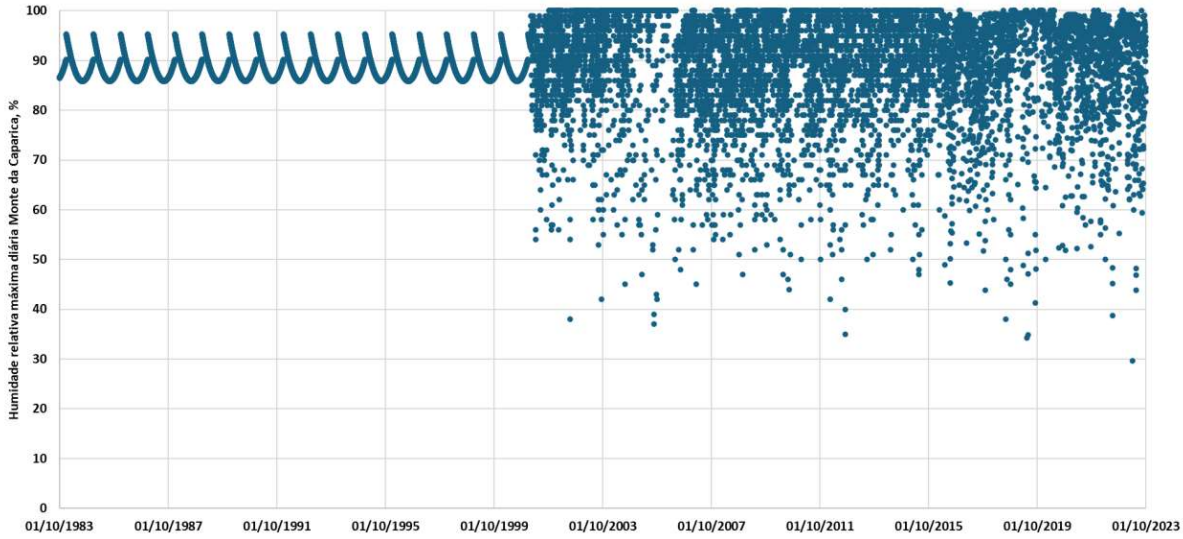


Figura A. 12 – Série de humidade relativa máxima diária obtida na estação meteorológica de Monte da Caparica

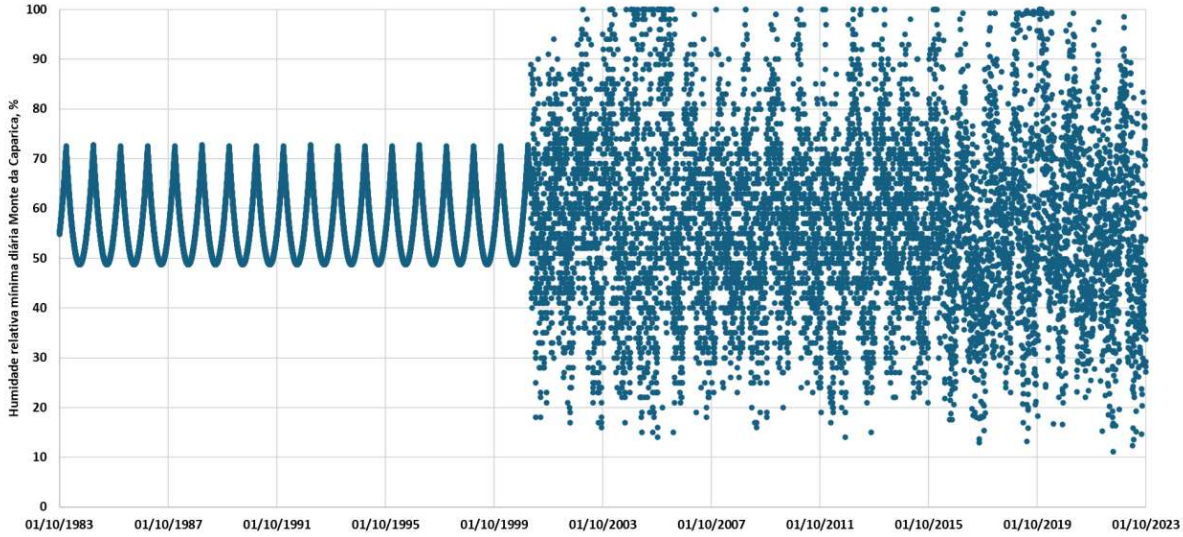


Figura A. 13 – Série de humidade relativa mínima diária obtida na estação meteorológica de Monte da Caparica

Velocidade do vento média

A estação 22B/01C-Monte da Caparica apresenta falhas de dados diários em 33 % da série temporal. Para o preenchimento das lacunas foram utilizadas regressões lineares estabelecidas com estações meteorológicas vizinhas, cujas séries não mostram grande correlação, distinguindo-se vários períodos:

- As lacunas existentes até 1994/09/30 foram preenchidas utilizando a regressão linear estabelecida com a estação 20D/01C-Vila Franca de Xira (Lezíria) – Figura A. 14:

$$VVento_{(Monte\ da\ Caparica,\ m/s)} = 0{,}00685 \,.\, VVento_{(Vila\ Franca\ de\ Xira\ (Lezíria),\ km/d)} + 1{,}5793$$

- As lacunas existentes após 2000/12/15 foram preenchidas utilizando as regressões lineares estabelecidas com as seguintes estações (usando a primeira estação com dados) – todos os dados com unidades m/s – Figura A. 15:
    - 21D/01UG-Alcochete: $VVento_{(Monte\ da\ Caparica)} = 0,62 \cdot VVento_{(Alcochete)} + 0,518$
    - 20C/01C-São Julião do Tojal: $VVento_{(Monte\ da\ Caparica)} = 0,5445 \cdot VVento_{(São\ Julião\ do\ Tojal)} + 0,5519$
    - 22C/02UG-Vila Nogueira de Azeitão: $VVento_{(Monte\ da\ Caparica)} = 0,6701 \cdot VVento_{(Vila\ Nogueira\ de\ Azeitão)} + 0,4598$
    - 20D/01C-Vila Franca de Xira (Lezíria): $VVento_{(Monte\ da\ Caparica)} = 0,4478 \cdot VVento_{(Vila\ Franca\ de\ Xira\ (Lezíria))} + 0,5145$
- Para o período intermédio, e outros dias sem registos de dados de velocidade do vento em nenhuma das estações consideradas, utilizou-se como velocidade média do vento, a velocidade média calculada para esse dia do ano utilizando os valores originais ou já preenchidos pelos outros dois procedimentos (Figura A. 16).

A Figura A. 17 mostra a série de velocidade do vento média diária obtida por estes procedimentos.

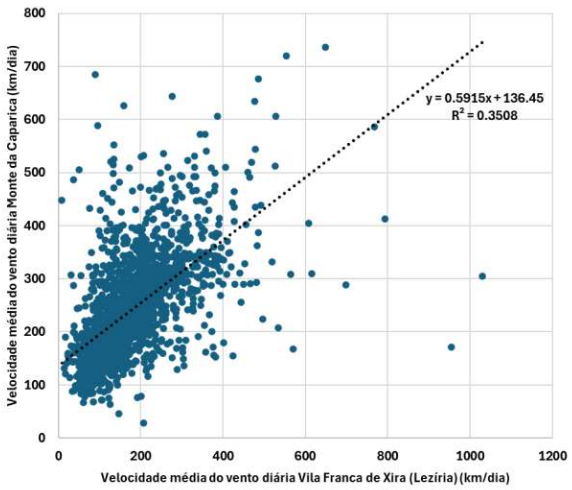


Figura A. 14 – Correlação e regressão linear entre a estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica e 20D/01C-Vila Franca de Xira (Lezíria) utilizada no preenchimento de lacunas da série diária de velocidade do vento no período até 1994/09/30

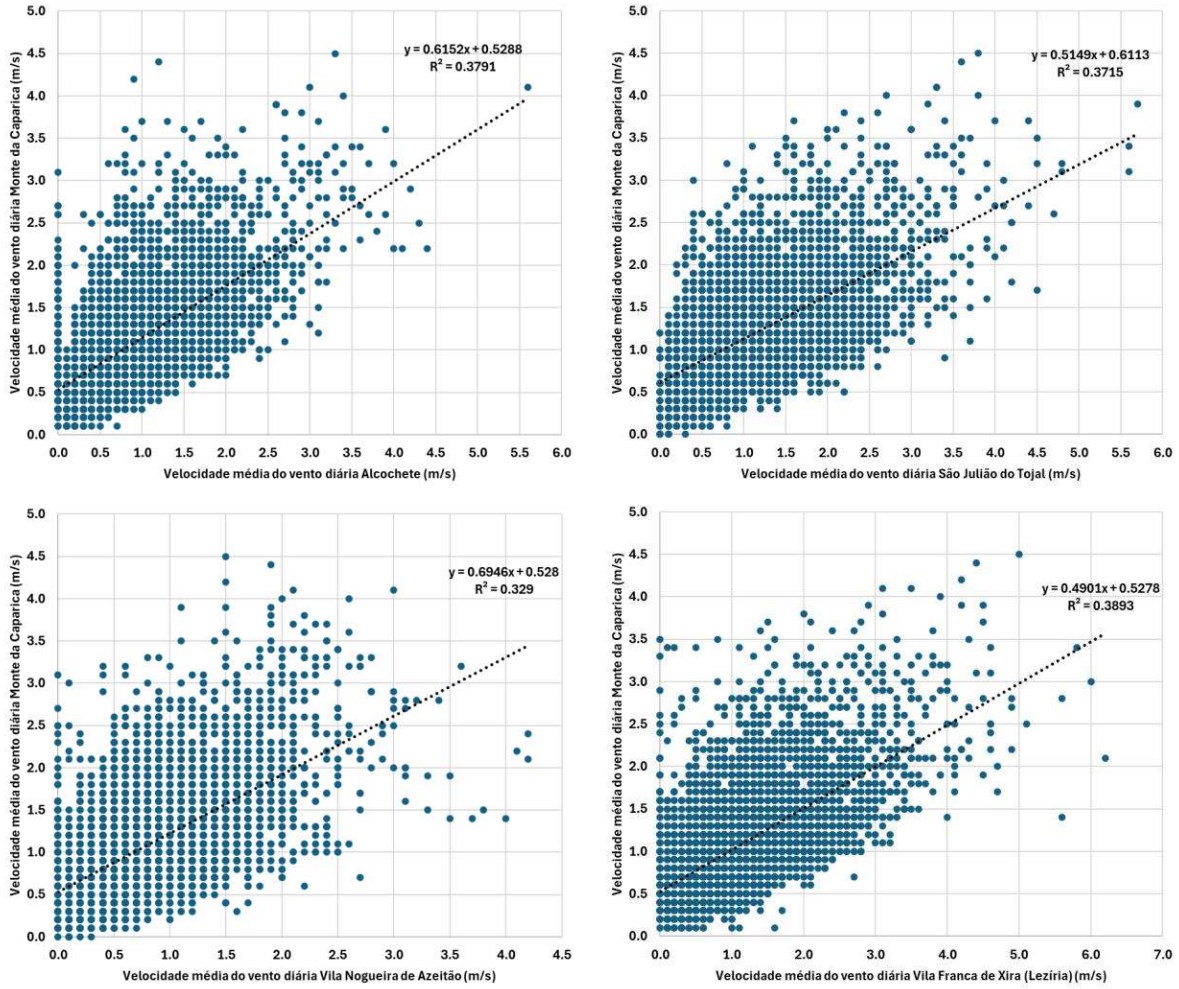


Figura A. 15 – Correlações e regressões lineares entre a estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica e (começando em cima, e à esquerda) 21D/01UG-Alcochete, 20C/01C-São Julião do Tojal, 22C/02UG-Vila Nogueira de Azeitão e 20D/01C-Vila Franca de Xira (Lezíria), utilizadas no preenchimento de lacunas da série diária de velocidade do vento no período após 2000/12/15

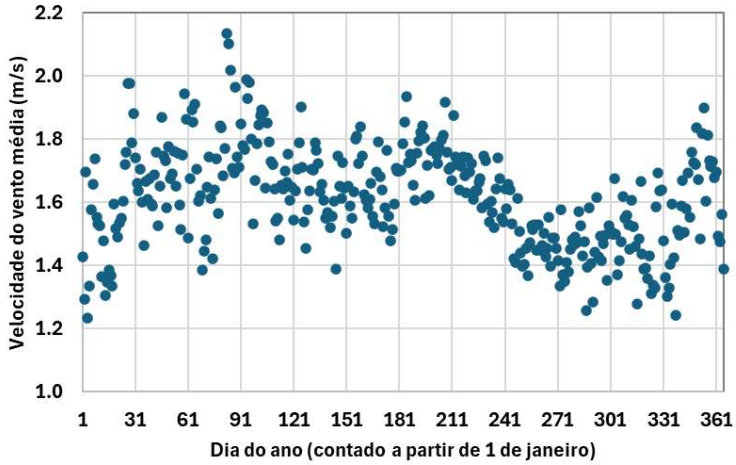


Figura A. 16 – Valores médios da velocidade do vento diária, em função do dia do ano, calculados para a estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica

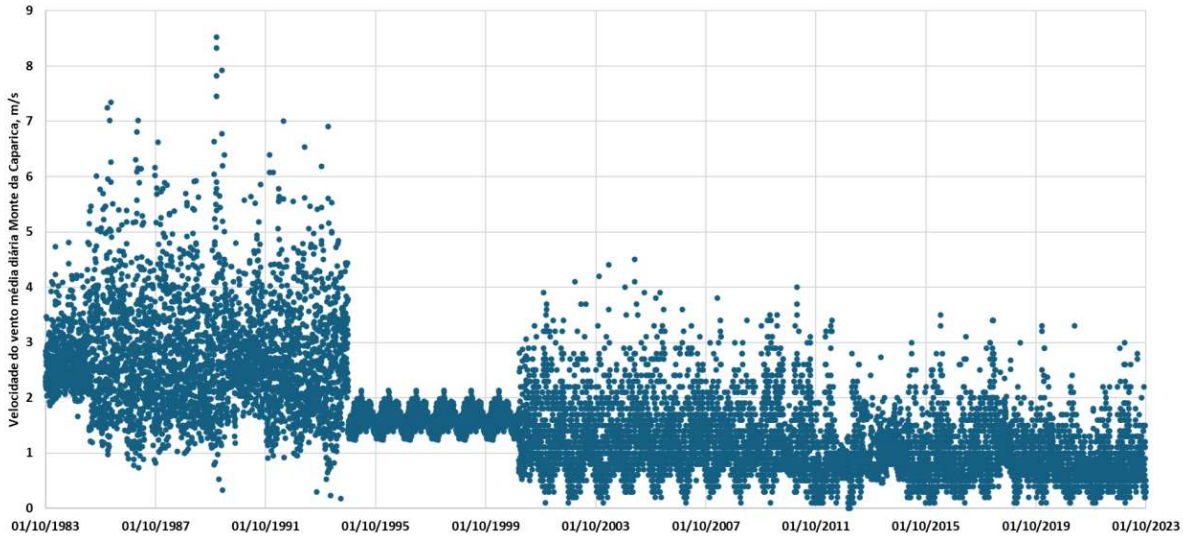


Figura A. 17 – Série de velocidade do vento média diária obtida na estação meteorológica de Monte da Caparica

Radiação solar

Para a radiação solar, a estação 22B/01C-Monte da Caparica apresenta lacunas de informação em 49 % do período de estudo. As estações mais próximas com disponibilidade de informação, utilizadas para preencher as lacunas, foram as estações do SNIRH 20C/01C-São Julião do Tojal e 20D/01C-Vila Franca de Xira (Lezíria). Esta última apresenta valores de radiação solar (unidades W/m^2) a partir de 2001/02/07, mas também apresenta valores de insolação diária (unidades hora), a partir da qual se pode estimar a radiação solar, até 1992/09/30.

Para o preenchimento das lacunas foram utilizados vários procedimentos, distinguindo-se vários períodos:

- As lacunas existentes a partir de 2001/02/07, foram preenchidas utilizando, por ordem de existência de dados, as seguintes regressões lineares – Figura A. 18:
    - 20D/01C-Vila Franca de Xira (Lezíria): $RS^*_{(\text{Monte da Caparica, x24})} = 0{,}9818 \cdot RS^*_{(\text{Vila Franca de Xira (Lezíria), x24})} - 100{,}07$
    - 20C/01C-São Julião do Tojal: $RS^*_{(\text{Monte da Caparica, x24})} = 1{,}0156 \cdot RS^*_{(\text{São Julião do Tojal, x24})} - 78{,}926$

  Representando $RS^*_{(Estação,\ x24)}$ o valor da Radiação solar aumentado de 24 vezes.

- Os valores de insolação registados na estação de Vila Franca de Xira (Lezíria) até 1992/09/30 foram transformados em radiação solar utilizando a formulação de Allen *et al.* (1998). Esta radiação solar foi multiplicada por 24 e seguidamente utilizou-se a regressão linear apresentada no parágrafo anterior.
- No período situado entre os períodos referidos nos parágrafos anteriores, e em alguns outros dias em que as lacunas não tivessem ainda sido preenchidas, estabeleceu-se uma relação entre os dados registados na estação de Monte da Caparica a partir de 2001/02/07 e o dia do

ano (Figura A. 19), aplicando-se esta fórmula para estimar a radiação solar em função do dia do ano (iniciado em 1 de janeiro):

$$0{,}0000054513.(RS^*)^4 - 0{,}00388752.(RS^*)^3 + 0{,}71897127.(RS^*)^2 - 9{,}891.(RS^*) + 1934{,}8$$

Todos os valores de radiação solar das séries do SNIRH com unidades W/m^2, ou calculados pelas equações de regressão linear ou de grau 4 apresentadas, tiveram de ser corrigidos dividindo-os por 24.

A Figura A. 20 mostra a série de radiação solar obtida por estes procedimentos, notando-se o período intermédio, suavizado, em que se aplicou o último procedimento.

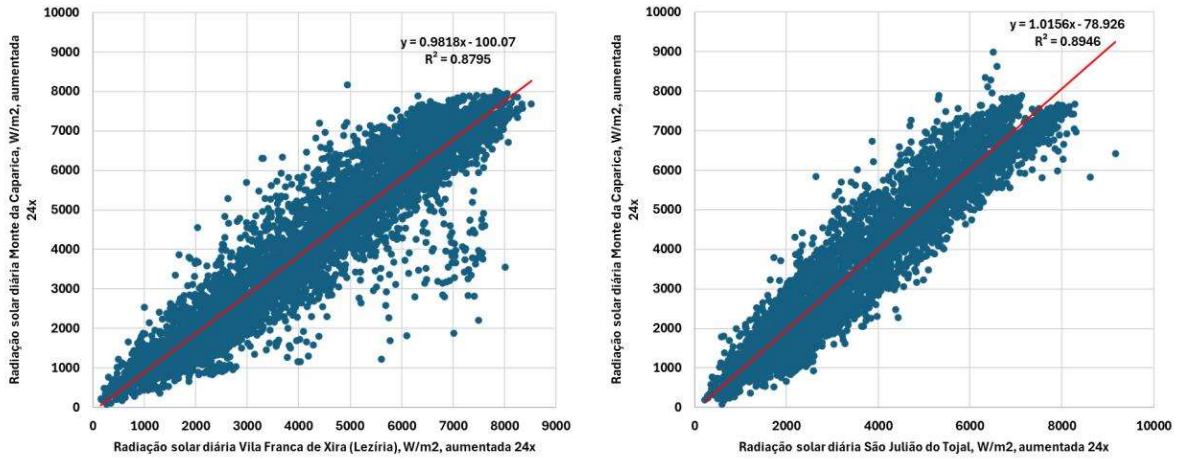


Figura A. 18 – Correlações e regressões lineares entre a estação meteorológica 22B/01C-Monte da Caparica e 20D/01C-Vila Franca de Xira (Lezíria) (à esquerda) e 20C/01C-São Julião do Tojal (à direita), utilizadas no preenchimento de lacunas da série diária de radiação solar no período após 2001/02/07

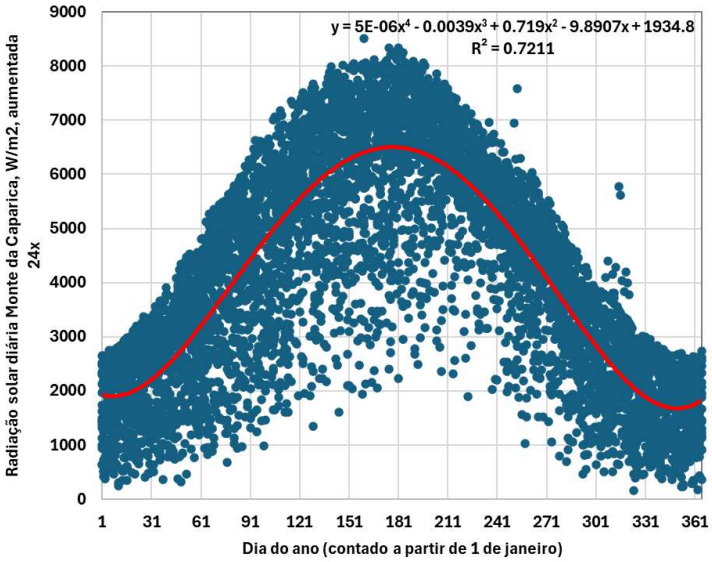


Figura A. 19 – Relação entre os dados registados na estação de Monte da Caparica a partir de 2001/02/07 e o dia do ano

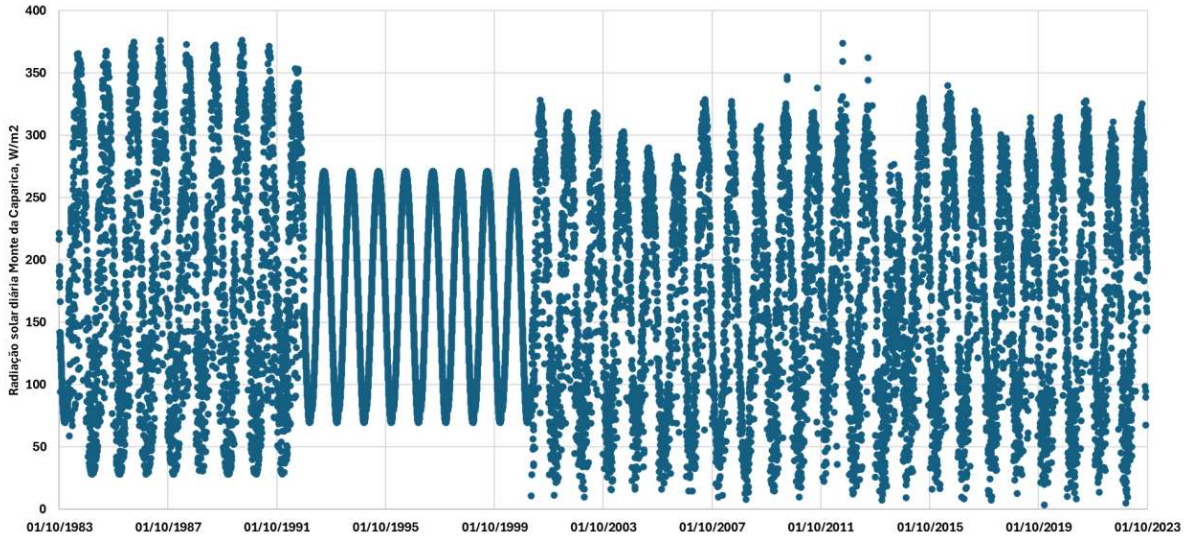


Figura A. 20 – Série de radiação solar obtida na estação meteorológica de Monte da Caparica (W/m²)

Pressão atmosférica

Não há dados de pressão atmosférica na estação do Monte da Caparica, pelo que se utilizaram duas fontes de dados alternativas, e um terceiro procedimento para preencher as lacunas de informação, da seguinte forma:

- Até 2004/12/31 usaram-se os dados disponibilizados no sítio do IPMA, tendo-se utilizado a pressão registadas às 9 horas da manhã em Lisboa / Geofísico (ficheiro pressdaily_Lisbon-Geofisico_igidl_1864-2006_no-grav-correction_28072020.xlsx acessível a partir de https://www.ipma.pt/pt/oclima/series.longas/list.jsp).
- De 2005/01/01 até 2019/06/19 usaram-se os dados de pressão diária média disponibilizados no sítio da Universidade de Lisboa para a estação do Instituto D. Luiz (http://dados-met-idl.campus.ciencias.ulisboa.pt/pressure/)
- O período restante foi preenchido utilizando o valor médio (constante) dos registos do período anterior, ou seja, 100.63 kPa.

A Figura A. 21 mostra a série de pressão atmosférica obtida por estes procedimentos.

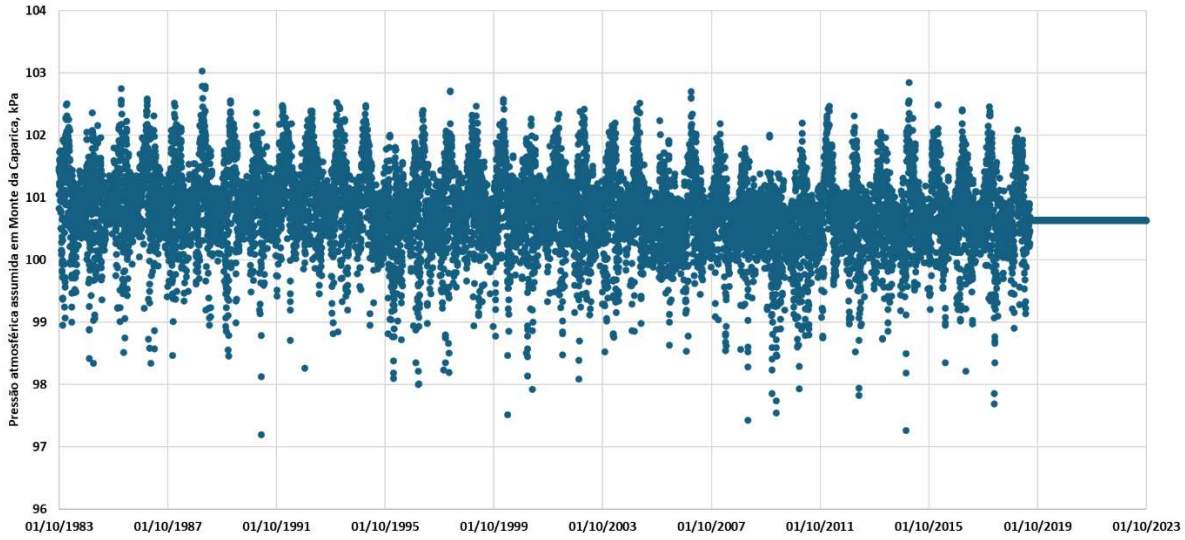


Figura A. 21 – Série de pressão atmosférica assumida na estação meteorológica de Monte da Caparica

www.lnec.pt

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL
tel. (+351) 21 844 30 00
lnec@lnec.pt **www.lnec.pt**