



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0607/1/17628

PLANO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DAS RIBEIRAS DO OESTE

**Modelação do sistema aquífero de Torres Vedras e análise
dos impactos das alterações climáticas nos ecossistemas
dependentes das águas subterrâneas (EDAS)**

ARH Tejo

Lisboa • junho de 2012

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 289/2012 – DHA/NAS

PLANO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DAS RIBEIRAS DO OESTE
Modelação do Sistema Aquífero de Torres Vedras e Análise dos Impactos das
Alterações Climáticas nos Ecossistemas Dependentes das Águas Subterrâneas
(EDAS)

Resumo

Este trabalho, realizado no âmbito do Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste, apresenta a modelação matemática do sistema aquífero de Torres Vedras, incluindo a modelação dos impactos expectáveis das alterações climáticas para os anos de 2050 e 2080 (cenário de emissões A1B) sobre o funcionamento dos Ecossistemas Dependentes das Águas Subterrâneas (EDAS). Complementarmente apresenta-se a caracterização geral do sistema aquífero, que fundamentou a criação do modelo matemático.

WATERSHED PLAN OF RIBEIRAS DO OESTE
Mathematical Modelling of Torres Vedras Aquifer System and Analysis of Climate
Change Impacts on Groundwater Dependent Ecosystems (EDAS)

Abstract

This work now presented was developed under the framework of the Watershed Plan of Ribeiras do Oeste, and presents the mathematical modelling of Torres Vedras aquifer system. The results of the modelling work concerning the impacts of climate changes, for the 2050 and 2080 horizons (emission scenarios A1B) upon the Groundwater Dependent Ecosystems (EDAS) are also presented here. Finally the general characterization of the aquifer system, from which the mathematical model was constructed, is also presented.

PLAN DE BASSIN DE RIBEIRAS DO OESTE
Simulation Mathématique du Système Aquifère de Torres Vedras et Analyse des
Impactes du Changement Climatique sur les Écosystèmes Dépendantes des
Eaux Souterraines (EDAS)

Sommaire

Le travail ici présenté a été développé dans le cadre du Plan de Bassin de Ribeiras do Oeste, et présente les simulations mathématiques du système aquifère de Torres Vedras. On présente aussi les simulations mathématiques des impacts du changement climatique, pour les horizons de 2050 et 2080 (scénarios d'émissions A1B), sur le fonctionnement des Écosystèmes Dépendantes des Eaux Souterraines (EDAS). Comme complément on présente encore la caractérisation du système aquifère, qui fut la base pour la construction du modèle mathématique du système aquifère.

Projeto Financiado



PLANO DE GESTÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO TEJO

Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos

Conteúdos para Consulta Pública do PGRH

MODELAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO DE TORRES VEDRAS E ANÁLISE DOS
IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NOS ECOSISTEMAS
DEPENDENTES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (EDAS)

29 . JUNHO . 2012



PLANO DE BACIA HIDROGRÁFICA DO OESTE

Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos

Relatórios finais relativamente aos estudos-piloto e produtos

MODELAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO DE TORRES VEDRAS E ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NOS ECOSISTEMAS DEPENDENTES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (EDAS)

Ficha Técnica

Nome	Formação	Área Temática
João Paulo Lobo Ferreira	Eng.º Civil; Doutorado em Engenharia Civil	Coordenação geral e LNEC; águas subterrâneas
José Paulo Monteiro	Geólogo; Doutorado em Hidrogeologia	Coordenação ICCE; águas subterrâneas e ecossistemas
Manuel M. Oliveira	Geólogo; Doutorado em Hidrogeologia	Caracterização quantitativa de águas subterrâneas; caracterização global e avaliação do estado; modelo de dados geográficos
Teresa E. Leitão	Geóloga; Doutorada em Hidrogeologia	Caracterização qualitativa de águas subterrâneas; caracterização global e avaliação do estado; optimização da rede
Luís Nunes	Eng.º do Ambiente; Doutorado em Ciências de Engenharia	Análise de tendências; redes de monitorização
Maria Emília Novo	Geóloga; Doutorada em Hidrogeologia	Caracterização geológica e hidrogeológica
Núria Salvador	Eng.ª do Ambiente e Mestre em Gestão de Solos	Ecossistemas
Sónia Pombo	Eng.ª Química Sanitarista	Necessidades de água
M.ª Francisca Silva	Eng.ª Química Sanitarista	Pressões antropogénicas qualitativas
Andrea Igreja	Eng.ª em Tecnologias da Informação	Pressões antropogénicas quantitativas; tratamento de dados
José Fernandes Nunes	Hidrogeólogo e Geólogo de Engenharia	Enquadramento e aspectos gerais; monitorização; pressões antropogénicas qualitativas
Maria José Henriques	Geóloga	Levantamento e tratamento de colunas litológicas de captações
David Silva	Eng.º de Recursos Hídricos	Tratamento de informação estatística

Nome	Formação	Área Temática
Luís Oliveira	Eng.º do Ambiente e Mestre em Engenharia do Ambiente	Mapeamento 3-D de colunas litológicas de captações
Tiago Martins	Geólogo	Avaliação da recarga de aquíferos
Ricardo Martins	Eng.º do Ambiente	Tratamento de informação Geográfica
Margarida Monte	Eng.ª Ambiente e Sanitarista	Necessidades de água
João Martins	Eng.º Ambiente	Pressões antropogénicas
André Braceiro	Eng.º Ambiente	Pressões antropogénicas
Rodrigo S. Henriques	Eng.º Ambiente	Pressões antropogénicas
Manuel Quaresma	Técnico de SIG	SIG
Isabel Vaz Pinto	Eng.ª Agrónoma	Coordenação Hidroprojecto; Necessidades de água; Pressões difusas

PLANO DE BACIA HIDROGRÁFICA DO OESTE

Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos

Relatórios finais relativamente aos estudos-piloto e produtos

MODELAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO DE TORRES VEDRAS E ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NOS ECOSISTEMAS DEPENDENTES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (EDAS)

ÍNDICE GERAL

1. MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE TORRES VEDRAS.....	1
1.1 ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2 PRINCÍPIOS FÍSICOS SIMULADOS PELOS MODELOS IMPLEMENTADOS	1
1.3 MODELAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	4
1.3.1 Enquadramento hidrogeológico e modelo conceptual de base para o desenvolvimento do modelo numérico regional de fluxo	4
1.3.2 Discretização espacial do domínio de escoamento	8
1.3.3 Variante 0 do modelo regional de fluxo – controlo regional do escoamento baseado na conexão hidráulica com a rede hidrográfica.....	11
1.3.4 Variante 1 do modelo regional de fluxo – controlo regional do escoamento baseado na conexão hidráulica com a rede hidrográfica.....	15
1.3.5 Variante 2 do modelo regional de fluxo – controlo regional do escoamento baseado na conexão hidráulica com a rede hidrográfica.....	17
1.4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS TRABALHOS DE MODELAÇÃO.....	20
2. IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	21
2.1 INTRODUÇÃO	21
2.2 ESTIMATIVA DA RECARGA EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS.....	21
2.2.1 Modificação das séries de precipitação	21
2.2.2 Modificação das séries de temperatura	23
2.2.3 Modificação das séries de evapotranspiração	24
2.2.4 Aplicação das metodologias apresentadas no cálculo da recarga.....	26
2.3 IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA PIEZOMETRIA	29
2.3.1 Cenário 2050 – Método de variação constante por estação do ano	30

2.3.2	Cenário 2050 – Método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano	34
2.3.3	Cenário 2080 – Método de variação constante por estação do ano	38
2.3.4	Cenário 2080 – Método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano	42
2.4	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS RESULTADOS DOS TRABALHOS DE MODELAÇÃO REALIZADOS PARA CENÁRIOS DE VARIAÇÃO DA RECARGA INDUZIDA PELAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	46

ANEXOS

1.	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E TECTÓNICA	55
2.	HIDROGEOLOGIA	58
2.1	MASSAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	58
2.2	ÁREA DE DRENAGEM DAS MASSAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	61
2.3	MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO	61
3.	AVALIAÇÃO DAS DISPONIBILIDADES	64
3.1	INTRODUÇÃO	64
3.2	EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS	64
3.3	AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA RECARGA	66
3.4	MASSAS DE ÁGUA ASSOCIADAS A ECOSISTEMAS AQUÁTICOS DE SUPERFÍCIE OU ECOSISTEMAS TERRESTRES QUE DELAS DEPENDEM DIRETAMENTE	67
3.5	IDENTIFICAÇÃO DAS ZONAS POTENCIAIS DE RECARGA DE AQUÍFEROS	68
3.6	MASSAS DE ÁGUA EM RISCO	69
4.	USOS, NECESSIDADES E PRESSÕES SOBRE A MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	70
4.1	USOS E NECESSIDADES DE ÁGUA	70
4.1.1	Necessidades de água por tipologia de uso (usos consumptivos e não consumptivos).....	70
4.1.2	Avaliação do balanço entre necessidades, disponibilidades e potencialidades	76
4.2	ABASTECIMENTO E TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS	76
4.3	CARATERIZAÇÃO E ANÁLISE DE VULNERABILIDADES	77
4.3.1	Riscos de poluição accidental.....	77

4.4	PRESSÕES NATURAIS E INCIDÊNCIAS ANTROPOGÉNICAS SIGNIFICATIVAS.....	80
4.4.1	Nota introdutória.....	80
4.4.2	Poluição tópica (impactes associados a casos significativos, existentes e previstos).....	80
4.4.3	Poluição difusa (impactes associados a casos significativos, existentes e previstos).....	83
4.4.4	Resultados globais.....	85
4.4.5	Captações de água.....	86
4.4.6	Situações existentes ou previstas que podem comprometer os objetivos ambientais.....	86
4.5	ZONAS PROTEGIDAS E ÁREAS CLASSIFICADAS.....	87
4.5.1	Zonas designadas para a captação de água destinada ao consumo humano.....	87
4.5.2	Zonas vulneráveis (delimitação das zonas especiais de proteção e resumo da tipificação e dos condicionamentos de utilização).....	88
4.5.3	Zonas de infiltração máxima.....	88
5.	REDE DE MONITORIZAÇÃO.....	88
5.1	ESTADO QUANTITATIVO, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO.....	88
5.2	REDE DE VIGILÂNCIA, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO.....	89
5.3	REDE OPERACIONAL, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO.....	91
5.4	REDE DE SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO.....	91
5.5	REDE DE NASCENTES, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO.....	92
5.6	ZONAS PROTEGIDAS.....	92
5.6.1	Zonas designadas para a captação de água destinada ao consumo humano.....	92
5.6.2	Zonas vulneráveis e zonas de infiltração máxima.....	92
6.	AVALIAÇÃO DO ESTADO DA MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. 92	
6.1	ESTADO QUANTITATIVO.....	92
6.2	ESTADO QUÍMICO.....	95
6.3	TENDÊNCIAS CRESCENTES SIGNIFICATIVAS E PERSISTENTES NA CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES.....	103
6.4	SÍNTESE.....	104

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 – Piezómetros no sistema aquífero de Torres Vedras e registo de valores máximos, mínimos e amplitude das séries (em m)	6
Quadro 1.2 – Valores de cota do leito dos cursos de água (em m), utilizado para imposição de condições de fronteira para simulação da conexão do sistema aquífero com a rede hidrográfica	10
Quadro 1.3 – Balanço de entradas e saídas nas zonas de balanço consideradas no modelo.....	14
Quadro 1.4 – Balanço de entradas e saídas nas zonas de balanço consideradas no modelo.....	16
Quadro 1.5 – Balanço de entradas e saídas nas zonas de balanço consideradas no modelo.....	19
Quadro 2.1 – Taxas de variação da precipitação para o cenário climático A1B e horizontes temporais para a região de Torres Vedras.....	22
Quadro 2.2 – Taxas de variação das temperaturas para o cenário climático A1B e horizontes temporais para a região de Torres Vedras.....	22
Quadro 2.3 – Corridas do modelo	27
Quadro 2.4 – Resultados da corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD para a totalidade do sistema aquífero de Torres Vedras.....	28
Quadro 2.5 – Análise estatística dos valores de piezometria medidos nos pontos localizados na área do sistema aquífero.....	33

ANEXOS

Quadro 1-1 – Estratigrafia e litologia da massa de águas subterrâneas	56
Quadro 2-1 – Identificação da massa de águas subterrâneas e litologias dominantes	59
Quadro 2-2 – Formações aquíferas dominantes e classificação da massa de águas subterrâneas quanto ao tipo de aquífero e ao meio de escoamento	60
Quadro 2-3 – Caracterização da transmissividade da massa de águas subterrâneas ..	60
Quadro 2-4 – Caracterização da produtividade da massa de águas subterrâneas	60
Quadro 2-5 – Síntese da caracterização hidroquímica da massa de águas subterrâneas	61
Quadro 3-1 – Resultados anuais médios do balanço hídrico sequencial diário (Torres Vedras).....	66
Quadro 4-1 – Evolução das captações por concelho	70
Quadro 4-2 – Abastecimento público. Volumes de água provenientes de origens subterrâneas (m ³ /ano)	71
Quadro 4-3 – Necessidades totais anuais de água para rega (hm ³) satisfeitos por origens subterrâneas	72

Quadro 4-4 – Necessidades de água para a pecuária por concelho, espécie e sistema de produção.....	73
Quadro 4-5 – Necessidades de água para o setor da Pecuária satisfeitas por origens subterrâneas.....	73
Quadro 4-6 – Distribuição das necessidades anuais de água dos estabelecimentos industriais por concelhos	75
Quadro 4-7 – Necessidades de água para o setor da Indústria	75
Quadro 4-8 – Volumes de água provenientes de origens subterrâneas (hm ³ /ano).....	76
Quadro 4-9 – Recargas anuais resultantes da rega na massa de águas subterrâneas	76
Quadro 4-10 – Balanço hídrico dos recursos subterrâneos para o ano médio na massa de águas subterrâneas	76
Quadro 4-11 – Número de captações presentes na massa de água subterrânea.....	76
Quadro 4-12 – Distribuição das fossas sépticas e ETAR compactas com descarga no solo.....	81
Quadro 4-13 – Cargas geradas por fossas sépticas e ETAR compactas com descarga no solo.....	81
Quadro 4-14 – Indústria Transformadora: substâncias prioritárias e outros poluentes potencialmente presentes.....	81
Quadro 4-15 – Distribuição dos aterros sanitários	82
Quadro 4-16 – Aterros sanitários: substâncias prioritárias e outros poluentes potencialmente presentes.....	82
Quadro 4-17 – Distribuição das pedreiras ativas.....	82
Quadro 4-18 – Distribuição das lixeiras encerradas.....	82
Quadro 4-19 – Lixeiras encerradas: substâncias prioritárias e outros poluentes potencialmente presentes.....	83
Quadro 4-20 – Distribuição das aviculturas com descarga no solo	83
Quadro 4-21 – Cargas geradas pelas aviculturas com descarga para o solo.....	83
Quadro 4-22 – Distribuição das suiniculturas com descarga no solo	84
Quadro 4-23 – Cargas geradas pelas suiniculturas com descarga para o solo.....	84
Quadro 4-24 – Distribuição das áreas agrícolas de acordo com o CLC'2006	84
Quadro 4-25 – Cargas originada pelas culturas agrícolas na BHRO.....	84
Quadro 4-26 – Poluição difusa: cargas de azoto originadas pelos setores da pecuária, agro-indústria e agricultura na BHRO	85
Quadro 4-27 – Poluição tóxica e difusa: substâncias prioritárias e outros poluentes eventualmente presentes.....	86
Quadro 4-28 – Abastecimento. Volumes de água provenientes de captações subterrâneas licenciadas pela ARH Tejo e CCDRC e CCDRLVT	86
Quadro 4-29 – Estado Químico da massa de águas subterrâneas e fontes de poluição tóxica e difusa com impacte ambiental	87
Quadro 4-30 – Municípios e atos administrativos que aprovam as respetivas delimitações de REN municipais.....	88
Quadro 5-1 – Índice de representatividade para a rede piezométrica	88

Quadro 5-2 – Número de pontos da rede de piezometria das águas subterrâneas otimizada e índices de representatividade respetivos	89
Quadro 5-3 – Índice de Representatividade para as redes de qualidade	90
Quadro 5-4 – Número de pontos da rede de vigilância da qualidade das águas subterrâneas otimizada e respetivos índices de representatividade.....	90
Quadro 5-5 – Rede de substâncias perigosas	92
Quadro 6-1 – Definição do estado quantitativo (Decreto-Lei n.º 77/2006, Anexo V, n.º II, ou DQA, Anexo V, n.º 2)	93
Quadro 6-2 – Teste do escoamento superficial para a massa de águas subterrâneas	94
Quadro 6-3 – Balanços extrações de águas subterrâneas / recarga.....	95
Quadro 6-4 – Definição do bom estado químico das águas subterrâneas (Decreto-Lei n.º 77/2006, Anexo V, n.º II, ou DQA, Anexo V, n.º 2).....	95
Quadro 6-5 – Exceções para os limiares no âmbito do PBH Oeste (adaptado de INAG, 2009)	96
Quadro 6-6 – Síntese da informação utilizada para a avaliação do estado químico....	98
Quadro 6-7 – Resultado da avaliação dos critérios do teste de avaliação global do estado químico	98
Quadro 6-8 – Teste de diminuição da qualidade química ou ecológica das massas de águas superficiais associadas para massa de águas subterrâneas	102
Quadro 6-9 - Estado Químico da massa de águas subterrâneas e fontes de poluição tópica e difusa com impacte.....	102
Quadro 6-10 – Análise de tendências	103
Quadro 6-11 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da avaliação global do estado químico	107
Quadro 6-12 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da intrusão salina.....	107
Quadro 6-13 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da degradação dos ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas. 107	
Quadro 6-14 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da diminuição da qualidade química ou ecológica das massas de águas de superfície associadas.....	108
Quadro 6-15 – Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste do balanço hídrico subterrâneo	108
Quadro 6-16 – Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste da avaliação dos ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas	109
Quadro 6-17 – Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste da intrusão salina	109
Quadro 6-18 – Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste do escoamento superficial.....	109
Quadro 6-19 – Síntese dos testes para a avaliação do Estado da massa de águas subterrâneas.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Direções de fluxo no sistema aquífero na década de 1970 e na atualidade	5
Figura 1.2 – Cursos de água e nascentes na área do Sistema Aquífero.....	7
Figura 1.3 – Rede de blocos de diferenças finitas. As células preenchidas correspondem aos pontos de potencial imposto	8
Figura 1.4 – Vetores de fluxo e isopiezas construídas com os resultados da variante 0 do modelo.....	12
Figura 1.5 – Zonas de cálculo de balanço, de cada um dos grupos de células que representam saídas naturais consideradas no modelo.	13
Figura 1.6 – Comparação de potenciais hidráulicos observados na rede piezométrica e calculados pelo modelo	14
Figura 1.7 – Vetores de fluxo e isopiezas construídas com os resultados da variante 1 do modelo.....	15
Figura 1.8 – Comparação de potenciais hidráulicos observados na rede piezométrica e calculados pelo modelo	17
Figura 1.9 – Vetores de fluxo e isopiezas construídas com os resultados da variante 1 do modelo.....	18
Figura 1.10 – Comparação de potenciais hidráulicos observados na rede piezométrica e calculados pelo modelo	19
Figura 2.1 – Resultados da corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD para a totalidade do sistema aquífero de Torres Vedras.....	28
Figura 2.2 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano	30
Figura 2.3 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano e a recarga calculada para situação actual ...	31
Figura 2.4 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano e o nível obtido para a situação actual.....	32
Figura 2.5 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano	33
Figura 2.6 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para a situação actual ..	34
Figura 2.7 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano	35
Figura 2.8 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano.....	36
Figura 2.9 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano e o nível obtido para a situação actual.....	37

Figura 2.10 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano	38
Figura 2.11 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano	39
Figura 2.12 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano e a recarga calculada para situação actual	40
Figura 2.13 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano e o nível obtido para a situação actual.....	41
Figura 2.14 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano	42
Figura 2.15 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano	43
Figura 2.16 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano.....	44
Figura 2.17 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano e o nível obtido para a situação actual	45
Figura 2.18 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano	46

ANEXOS

Figura 1-1 – Carta geológica da área do PBH Oeste	56
Figura 1-2 – Estruturas neotetónicas	58
Figura 2-1 – Localização da massa de águas subterrâneas de Torres Vedras na área do PBH Oeste.....	59
Figura 2-2 – Índice de Facilidade de Infiltração da massa de águas subterrâneas de Torres Vedras	62
Figura 2-3 – Direções de fluxo no sistema aquífero na década de 1970 e na atualidade	63
Figura 2-4 – Superfície piezométrica e linhas de fluxo no setor de Ramalhal-Paúl	64
Figura 3-1 – Distribuição dos pontos da rede de monitorização na massa de águas subterrâneas de Torres Vedras	65
Figura 3-2 – Níveis piezométricos por piezómetro e tendências obtidas	65
Figura 3-3 – Níveis piezométricos anuais máximos por ano hidrológico e respetivas tendências de evolução	66
Figura 3-4 – Recarga da massa de águas subterrâneas de Torres Vedras	67

Figura 3-5 – Ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (EDAS) no sistema aquífero O25 - Torres Vedras	68
Figura 3-6 – Índice de Facilidade de Infiltração na área da massa de águas subterrâneas de Torres Vedras	69
Figura 4-1 – Abastecimento Público. Volumes de água provenientes de captações subterrâneas (hm ³ /ano) por massa de águas subterrâneas (fonte: INSAAR, 2010)....	71
Figura 4-2 – Consumos totais anuais de água para rega (hm ³) por massa de águas subterrâneas.....	72
Figura 4-3 – Consumos de água pelo setor da pecuária satisfeitos por origens subterrâneas: volumes por massa de águas subterrâneas (hm ³).....	74
Figura 4-4 – Distribuição das necessidades de água para a indústria por massa de águas subterrâneas	75
Figura 4-5 – Mapa da classificação do território do plano, de acordo com o grau de risco de poluição accidental.....	78
Figura 4-6 – Mapa IFI do risco de poluição accidental associado a estradas.....	79
Figura 4-7 – Mapa da classificação do risco de poluição accidental associado a estradas.....	80
Figura 4-8 – Situação relativa a perímetros de proteção na área do PBH Oeste (http://www.arhtejo.pt/web/guest/perimetros-de-proteccao1 , consultado em Maio de 2011)	87
Figura 5-1 – Rede de Quantidade das águas subterrâneas otimizada para a massa de águas subterrâneas de Torres Vedras.....	89
Figura 5-2 – Pontos de monitorização da rede de vigilância e operacional na massa de águas subterrâneas de Torres Vedras.....	90
Figura 5-3 – Rede de vigilância da qualidade das águas subterrâneas otimizada a massa de águas subterrâneas de Torres Vedras.....	91
Figura 6-1 – Evolução dos níveis piezométricos no PBH Oeste por ponto de monitorização	94
Figura 6-2 – Mapa do estado químico da massa de águas subterrâneas de Torres Vedras, de acordo com o esquema definido no Anexo VII, 2.5 do DL n.º 77/2006.....	97
Figura 6-3 – Pressões e estado químico associados à massa de águas subterrâneas de Torres Vedras	101
Figura 6-4 – Síntese do Estado Químico geral e das tendências significativas e constantes da massa de águas subterrâneas (bola preta: tendência crescente; bola azul: inversão de tendência)	104
Figura 6-5 – Síntese do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas	105
Figura 6-6 – Massas de águas subterrâneas em risco, antes do PBH Oeste.....	105
Figura 6-7 – Massas de águas subterrâneas em risco, após do PBH Oeste.....	105

1. MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE TORRES VEDRAS

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

O modelo conceptual descrito em Lobo Ferreira et al. (2011) para a massa de águas subterrâneas de Torres Vedras foi utilizado para criar modelos numéricos de simulação desta Massas de Água Subterrâneas (MAS). Este modelo conceptual assim como todos os aspetos da caracterização realizada para esta massa de águas subterrâneas são rerepresentados no ANEXO 1 a este relatório.

Tal como definido nos termos de referência do presente plano, para a modelação numérica utilizou-se o programa “Modflow - modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model”. Este modelo é um programa de domínio público e de utilização gratuita, disponibilizado pelo United States Geological Survey (USGS), da autoria de MacDonald e Harbaugh (1988). Este modelo baseia-se na utilização do método das diferenças finitas para simulação de escoamentos subterrâneos, permitindo a análise da sua interação com as massas de água superficiais associadas. O fornecimento do ficheiro não é feito no entanto no formato livre do programa, já que foi explicitamente escolhida a utilização de um pré e pós processador comercial (Waterloo Hydrogeologic, Visual MODFLOW). Na secção seguinte do texto apresenta-se uma descrição dos princípios físicos simulados por estes modelos de parâmetros distribuídos que discretizam espacialmente o domínio de escoamento (os aquíferos). O domínio de escoamento assim definido, juntamente com a definição de condições de fronteira apropriadas, caracterizam as condições específicas para um aquífero em particular dos princípio físicos gerais expressos através das equações apresentadas na secção seguinte do texto.

1.2 PRINCÍPIOS FÍSICOS SIMULADOS PELOS MODELOS IMPLEMENTADOS

A forma mais explícita da equação diferencial em derivadas parciais que descreve o escoamento de água subterrânea de densidade constante, num meio poroso saturado, baseia-se na conjugação da lei de Darcy, que exprime a conservação do momento, e da equação da continuidade, que exprime a lei de conservação da massa do fluido:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)+Q=S_s\frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{Eq. 1.1})$$

em que:

K_{xx} , K_{yy} e K_{zz} são os valores da condutividade hidráulica [LT^{-1}] ao longo dos eixos cartesianos x , y e z ;

h é o potencial hidráulico [L];

Q é um fluxo volumétrico por unidade de volume [$L^3T^{-1}L^{-3}$] que representa as perdas e ganhos de fluido;

S_s é o armazenamento específico, necessário para a simulação das variações transitórias do volume armazenado de água [L^{-1}].

A condutividade hidráulica define-se pela expressão:

$$(Eq. 1.2) \quad K = \frac{\rho g k}{\mu}$$

em que:

ρ é a densidade da água [ML^{-3}];

g é a aceleração da gravidade [LT^{-2}];

k é a permeabilidade intrínseca ou geométrica [L^2];

μ é a viscosidade dinâmica [$ML^{-1}T^{-1}$].

O potencial hidráulico [L] corresponde à energia por unidade de massa do fluido, se for negligenciada a energia cinética, e expressa-se pela soma da cota z [L] do fluido e do potencial de pressão p [$ML^{-1}T^{-2}$] num dado ponto:

$$(Eq. 1.3) \quad h = \left(\frac{p}{\rho g} \right) + z$$

O armazenamento específico [L^{-1}] é definido pela expressão:

$$(Eq. 1.4) \quad S_s = \rho g (\alpha + n\beta)$$

em que:

α é a compressibilidade do meio poroso [LT^2M^{-1}];

n é a porosidade efetiva (adimensional);

β é a compressibilidade da água [LT^2M^{-1}].

A equação 1.1 é frequentemente expressa numa forma mais compacta utilizando os operadores diferenciais de divergência e de gradiente:

$$(Eq. 1.5) \quad S_s \frac{\partial h}{\partial t} + \operatorname{div} \left(-[K] \overrightarrow{\operatorname{grad} h} \right) = Q$$

No caso particular da descrição de escoamento em regime permanente as variáveis são independentes do tempo. Neste caso, a equação 1.5 reduz-se à equação 1.6:

$$\text{div}(-[K]\overrightarrow{\text{grad}} h) = Q \quad (\text{Eq. 1.6})$$

No caso vertente, a técnica de discretização, utilizada para simular os sistemas aquíferos modelados recorre uma resolução baseada no “block centered finite difference method” implementado no código MODFLOW (Macdonald e Arbaugh, 1988). Neste caso o parâmetro condutivo utilizado é a transmissividade $T [L^2 T^{-1}]$, obtida multiplicando K pela espessura saturada do aquífero. Para as simulações transitórias, o parâmetro capacitivo tridimensional $S_s [L^{-1}]$ é substituído pelo coeficiente de armazenamento $S [-]$, que se obtém pela multiplicação de S_s pela espessura saturada do aquífero.

As condições de fronteira utilizadas neste tipo de modelos são diversas variantes dos três tipos seguintes:

- Fronteiras tipo Dirichlet, também denominadas “tipo 1” > specified-head boundary (fronteira com piezometria especificada);
- Fronteiras tipo Neumann, também denominadas “tipo 2” > specified-flow boundary (fronteira com fluxo especificado);
- Fronteiras tipo Cauchy, também denominadas “tipo 3” > head-dependent ou ‘leaky’ boundary; com diferentes tipos de coeficientes de transferências de entrada e saída.

As diversas *packages* usadas pelo MODFLOW para definição de condições de fronteira são apenas casos particulares destes três tipos de condições de fronteira, às quais são impostas restrições (*constraints*) que as tornam válidas apenas enquanto se verifica a satisfação de valores máximos e mínimos definidos para os diferentes tipos de condições (por exemplo, “drenos” que não são mais do que condições do “tipo 3”, com a limitação de apenas funcionarem quando o potencial simulado no aquífero é superior ao de uma massa de água superficial associada, o que impede o comportamento influente desta (entradas de água para o aquífero).

1.3 MODELAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

De todos os elementos apresentados e discutidos ao longo dos diferentes capítulos em que as características desta massa de água subterrânea foram apresentadas (incluindo a sua caracterização hidrogeológica, a avaliação de estado quantitativo e estado químico, e ainda a análise da adequabilidade e proposta de melhoria das atuais redes de monitorização – veja-se ANEXO 1), sintetiza-se nesta secção apenas a informação relevante para justificar as opções feitas para a construção do modelo numérico implementado e as referências bibliográficas relevantes para o modelo conceptual proposto que o suporta.

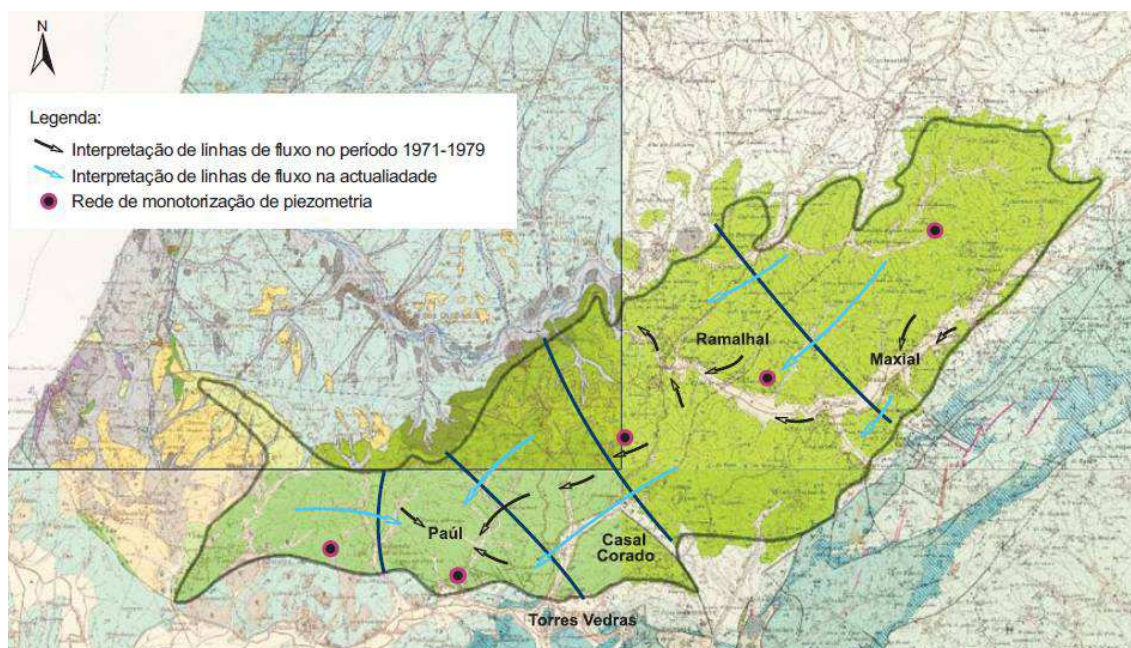
1.3.1 Enquadramento hidrogeológico e modelo conceptual de base para o desenvolvimento do modelo numérico regional de fluxo

Para desenvolver o modelo de simulação do funcionamento hidráulico da massa de águas subterrâneas (MAS) recorreu-se ao modelo conceptual proposto por Vieira da Silva (2010) que complementa a informação disponível em Almeida et al. (2000) sobre este mesmo sistema. A Figura 1.1 ilustra a descrição mais atual do modelo conceptual deste sistema, ou seja, a apresentada por Vieira da Silva (2010).

De acordo com este modelo conceptual considera-se que o fluxo no sector E do sistema se processa de NE para SW, em direção ao Paúl e à Vala dos Amiais, efluente da margem direita do Rio Sizandro, que tudo indica dever constituir a área de descarga natural mais importante desta massa de águas subterrâneas. No sector ocidental o escoamento dá-se igualmente para o Paúl, em direção ao mesmo curso de água, pelo que o fluxo terá aqui uma direção dominante W-E. Ainda de acordo com Vieira da Silva (2010), na década de 1970, período em que se verificou uma intensa exploração do aquífero, o padrão regional de escoamento era visivelmente influenciado pelos polos de extração de Paúl, Ramalhal e Maxial, pelo que localmente as direções de fluxo subterrâneo convergiam nestes polos. A representação destas observações é igualmente sintetizada na Figura 1.1 através da reconstituição da superfície piezométrica na atualidade e na década de 70 do século passado, com base em informação histórica referida em relatórios de captação (Vieira da Silva, 2010).

Apesar das perturbações produzidas pelas extrações efetuadas na MAS entre o período de 1971 a 1979, as direções apontadas para os sentidos de fluxo parecem mostrar que o padrão regional de escoamento é controlado, em qualquer dos casos,

pelo regime de transferências ocorridas entre a MAS e os cursos de água que dela recebem caudal de base. Estes cursos de água apresentam-se na Figura 1.2.



Fonte: Vieira da Silva (2010)

Figura 1.1 – Direções de fluxo no sistema aquífero na década de 1970 e na atualidade

Relativamente ao suporte litológico desta massa de águas subterrâneas, verifica-se que a formação mais relevante é a Formação de Torres Vedras (também conhecida por Grés com vegetais fósseis, de Torres Vedras e de Cercal) do Cretácico inferior. Esta formação é composta por arenitos feldspáticos e caulíferos, com granulometria variável, em geral mal calibrados, com abundantes lentículas argilosas, siltes e alguns níveis conglomeráticos. No topo podem ainda surgir arenitos porcelanóides. Devido às semelhanças litológicas entre o Cretácico inferior e as formações mais altas do Jurássico, também constituídas por arenitos com lentículas argilosas, alguns níveis destas foram incluídas nesta MAS, dado que vários furos captam ambas formações. A espessura dos arenitos cretácicos pode atingir nalguns locais 260 m. O conjunto de formações da MAS inclui ainda as formações de cobertura (aluviões, dunas, areias eólicas, depósitos de praias e terraços e cascalheiras, e o complexo arenoso pliocénico constituído por: grés de Barreira Alvo e Seixal, areias, arenitos e argilas plio-pleistocénicos de Silveira).

Como se pode observar na Figura 1.2, no sector Norte desta MAS estão instaladas as cabeceiras de água do rio Alcabrichel e da Vala do Pisão, sendo esta efluente da margem esquerda do primeiro curso de água referido. No sector Sul da MAS situa-se

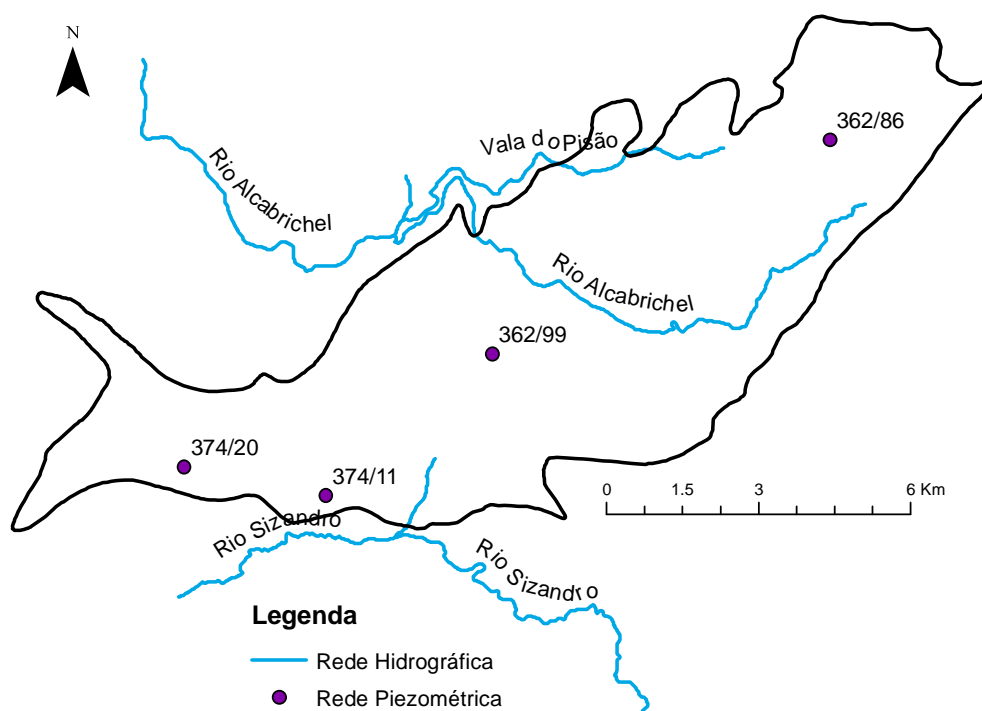
igualmente a cabeceira da linha de água denominada Vala dos Amiais, tributária, mais a Sul, do rio Sisandro. Estas transferências, que ocorrem numa área denominada Paúl, têm um importante papel na definição do padrão regional de escoamento. O modelo conceptual adotado como base de suporte para o modelo numérico implementado identifica este local como a mais importante área de descarga natural da MAS. Como será discutido ao longo do presente texto, os resultados do trabalho de modelação efetuado confirmam e aprofundam as características gerais do modelo conceptual da MAS anteriormente proposto. A comparação da distribuição espacial dos escassos dados piezométricos disponíveis com a posição e altitude dos cursos de água conectados ao aquífero mostra que estes elementos são compatíveis com o modelo conceptual proposto em Vieira da Silva (2010). A análise realizada parece indicar que os restantes cursos de água na área do sistema são saídas menos importantes do que as associadas transferências em direção ao Rio Sizandro. Esta interpretação é auxiliada pela análise da síntese dos dados piezométricos disponíveis para a MAS, que se apresentam no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 – Piezómetros no sistema aquífero de Torres Vedras e registo de valores máximos, mínimos e amplitude das séries (em m)

Referência	Piezometria máxima	Piezometria mínima	Amplitude
362/86	88,53	84,64	3,89
362/99	60,89	47,22	13,67
374/11	21,62	14,57	7,05
374/20	40,26	35,28	4,98

Verifica-se que, no caso do rio Alcabrichel a cota na cabeceira (80 m) se reduz até 40 m, junto ao ponto do limite do sistema aquífero onde este curso de água abandona a sua área. No caso da Vala do Pisão, as cotas dos mesmos dois pontos variam entre 60 m e 40 m. Ao comparar estes valores com os dados de piezometria registados no Quadro 1.2, constata-se que os pontos de observação situados a Sul e a Norte destes cursos de água (362/99 e 362/86, respetivamente), apresentam valores superiores à maioria do percurso destes cursos de água no seu trajeto sobre a área da MAS. Nestas condições, poderá considerar-se que esta MAS contribui para o caudal de base do rio Alcabrichel. Apesar de ser evidente a possibilidade destes cursos de água constituírem descargas naturais do aquífero, o que deveria ser confirmado através de uma rede piezométrica apropriada, estas saídas naturais são menos importantes do que as existentes mais a Sul, em direção ao Rio Sizandro. Estas saídas verificam-se a

partir da cabeceira da linha de água denominada Vala dos Amiais, tributária mais a Sul do rio Sisandro. Neste caso as cotas entre a cabeceira da linha de água e o ponto onde esta abandona a área do sistema aquífero, são da ordem dos 30 m. A relação geométrica entre o leito do rio e os potenciais hidráulicos registados no sistema aquífero é menos conclusiva nesta área, pois o ponto de observação mais próximo deste curso de água (374/11) apresenta potenciais hidráulicos inferiores a este valor (Quadro 1.1). Ou seja, de acordo com estes dados e sem o conhecimento de outros elementos, poderia apontar-se para um comportamento influente deste curso de água, que desta forma contribuiria para a recarga do aquífero.



Fonte: INTERSIG e Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH)

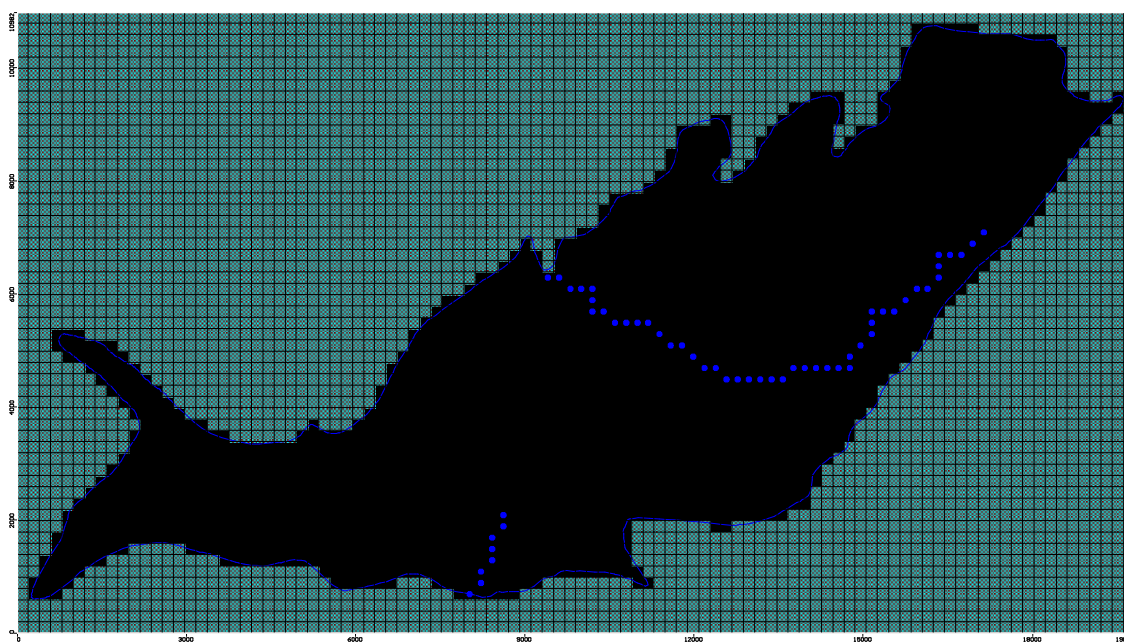
Figura 1.2 – Cursos de água e nascentes na área do Sistema Aquífero

No entanto, esta possibilidade não parece ser compatível com o modelo conceptual apresentado por Vieira da Silva (2010), pelo que se considera que as transferências para o Rio Sisandro, através da Vala dos Amiais, deverão ser a saída natural mais importante, como também é indicado pelos resultados do trabalho de modelação efetuado. Para confirmar de forma mais fundamentada o modelo conceptual, apesar da sua concordância com o modelo numérico, torna-se necessário empreender campanhas de monitorização muito mais detalhadas do que as atuais. A vala dos Amiais, tributária do rio Sisandro na área do limite sul do sistema, poderá integrar uma área de descarga mais alargada, não apenas constituída por este curso de água, mas

incluindo igualmente a área onde se situa o piezómetro 374/11. Esta questão é um dos aspetos que não pode ser esclarecido de forma taxativa, tendo em conta a insuficiência de dados piezométricos atualmente existente.

1.3.2 Discretização espacial do domínio de escoamento

A discretização foi efetuada através da definição de uma rede com 2109 células (também denominadas blocos) cuja área individual é de cerca de 3,96 ha, tendo assim o domínio de escoamento uma área de cerca de 83,42 km². A Figura 1.3 ilustra a rede construída, onde se assinalaram os blocos para os quais se impuseram condições de fronteira. Na Figura 1.3 e no Quadro 1.2 registam-se os valores considerados para a imposição de condições de fronteira, utilizadas para simular as saídas naturais desta massa de água e a sua posição geográfica. Estas condições de fronteira são impostas em células localizadas no interior e na periferia do domínio de fluxo. Como se pode verificar, estas áreas correspondem ao percurso das linhas de água na área da MAS que se considera constituírem áreas de descarga relevantes do aquífero.



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.3 – Rede de blocos de diferenças finitas. As células preenchidas correspondem aos pontos de potencial imposto

A forma de simular a presença de conexão hidráulica subterrânea com os cursos de água, neste caso, consistiu na utilização de condições de fronteira do Tipo 1 “specified head” e Tipo 3 “head-dependent” que, no caso do programa MODFLOW, podem ser

utilizadas, recorrendo às packages de condições de fronteira denominadas “Constant Head Boundary Conditions (CHD)”, e “Drain (DRN) Boundary Conditions. Os resultados são muito semelhantes em ambos os casos, simplificando no entanto o problema em causa a utilização de condições de fronteira (DRN), uma vez que não existem elementos que permitam considerar que sejam relevantes volumes de entradas de alimentação, ocorridos a partir da infiltração de cursos de água em quaisquer das referências e dados consultadas sobre esta área. A utilização de drenos no MODFLOW corresponde a uma simplificação extrema do uso do conceito básico de “Constraints of Boundary Conditions”, para condições de tipo 3, válidas apenas, neste caso particular, quando o potencial hidráulico no aquífero (calculado pelo modelo) é superior ao das células vizinhas onde é imposto o potencial hidráulico, representando os drenos. Uma vez que nestas circunstâncias os cursos de água funcionam apenas como áreas de saída (correspondente ao caudal de base dos cursos de água), não existe qualquer benefício da utilização de condições de fronteira de caudal imposto (Tipo 2), ou ainda de condições Tipo 3 sem constrangimentos para as entradas. Estas podem ser utilizadas no MODFLOW, recorrendo às packages “River (RIV) Boundary Conditions” e “Stream (STR) Boundary Conditions”, e ainda “General-Head (GHB) Boundary Conditions”, caso a conexão se dê com um corpo de água superficial com uma dimensão excecionalmente importante relativamente à dimensão do aquífero. No presente caso de estudo não é aconselhável utilizar condições de fronteira deste tipo pois não existem dados que permitam aferir em que medida ocorre a eventual entrada de água no sistema em troços influentes dos cursos de água.

Considerou-se uma espessura de 150 m para o domínio de escoamento. Existem sectores onde a MAS apresenta profundidades mais elevadas. No entanto, dada a irregularidade da geometria da base do aquífero, considerou-se que esses sectores de maior espessura deverão ter pouca influência no padrão regional de escoamento na centena e meio de metros superior na generalidade da massa de águas subterrâneas.

Um aspeto relevante a considerar relativamente às opções que regeram o desenvolvimento do modelo implementado diz respeito à escassez de dados piezométricos. De facto, os dados de piezometria disponíveis são demasiado escassos para que seja possível a calibração do modelo proposto, através de um zonamento dos parâmetros hidráulicos. No entanto é muito encorajador para a evolução deste modelo a análise das ordens de grandeza da transmissividade regional equivalente, que se apresentam para este parâmetro nas 3 variantes apresentadas. Estas iniciam-se por um valor exageradamente elevado de transmissividade, como se

pode observar na variante zero apresentada, até um valor da ordem do limite inferior que é razoável aceitar para este parâmetro, na variante 2, tendo em conta os dados disponíveis determinados a partir da interpretação de ensaios de bombagem.

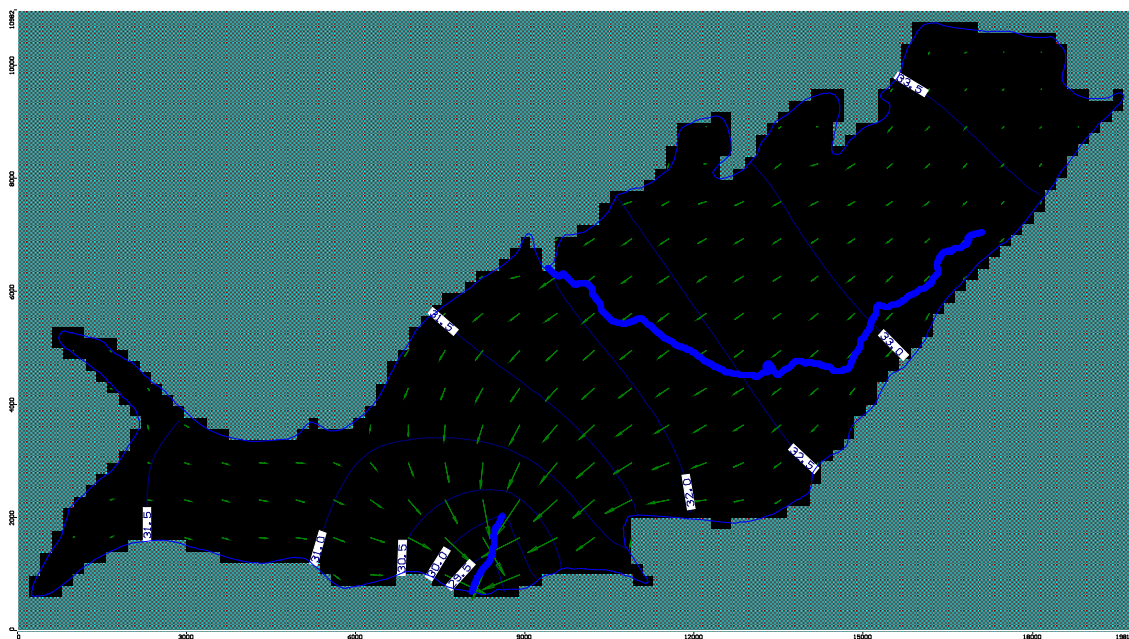
Quadro 1.2 – Valores de cota do leito dos cursos de água (em m), utilizado para imposição de condições de fronteira para simulação da conexão do sistema aquífero com a rede hidrográfica

Rio Sizandro (Sul)	Rio Alcabrichel (Norte)
29,0	40,0
29,1	40,9
29,3	41,7
29,4	42,6
29,6	43,5
29,7	44,3
29,9	45,2
30,0	46,1
	47,0
	47,8
	48,7
	49,6
	50,4
	51,3
	52,2
	53,0
	53,9
	54,8
	55,7
	56,5
	57,4
	58,3
	59,1
	60,0
	60,9
	61,7
	62,6
	63,5
	64,3
	65,2
	66,1
	67,0
	67,8
	68,7
	69,6
	70,4
	71,3
	72,2
	73,0
	73,9
	74,8

Rio Sizandro (Sul)	Rio Alcabrichel (Norte)
	75,7
	76,5

1.3.3 Variante 0 do modelo regional de fluxo – controlo regional do escoamento baseado na conexão hidráulica com a rede hidrográfica

A primeira tentativa de simulação de fluxo baseada na conceptualização descrita na secção anterior baseou-se na atribuição de uma condutividade hidráulica de 10^{-3} m/s para todo o aquífero. Tendo em conta a espessura do domínio de escoamento (150 m), obtém-se assim uma transmissividade de 12 960 m²/dia. Este valor é bastante superior aos valores de transmissividade disponíveis obtidos em ensaios de caudal efetuados nesta MAS. Este facto é natural, uma vez que os parâmetros condutivos que caracterizam os meios porosos aumentam com a escala a que são determinados, desde a escala laboratorial, compreendendo amostras de rochas com poucos cm³, passando pela escala das captações (com dimensão máxima que pode atingir a espessura do aquífero, ou seja, várias centenas de metros), até à escala de todo o sistema hidrogeológico (que, neste caso abrange uma área com cerca de 80 km²). Os valores de transmissividade determinados para esta MAS a partir de ensaios de bombagem variam entre 2,5 m²/dia e 400 m²/dia, de acordo com a síntese de dados efetuada durante o presente plano. A mediana da produtividade das captações é de 6 l/s (Almeida et al., 2000). Vieira da Silva (2010) apresenta dois exemplos de perfis de rebaixamento de ensaios de bombagem a caudal constante, de 10,5 l/s e 2 l/s, para os quais se obtiveram respetivamente transmissividades de 166 m²/dia e 41 m²/dia. Não seria expectável ter pois valores de transmissividade tão altos como aqueles que se definiram para esta variante 0 do modelo implementado. No entanto esta primeira variante permitiu iniciar o exercício de avaliação da ordem de grandeza dos valores máximos de transmissividade equivalente à escala regional que é verossímil assumir para que se obtenha um padrão regional de escoamento compatível com o modelo conceptual adotado. Este ponto de partida é muito importante para fazer evoluir futuras variantes do modelo proposto. As isopiezas e vetores de fluxo construídos a partir dos resultados desta primeira simulação representam-se na Figura 1.4.

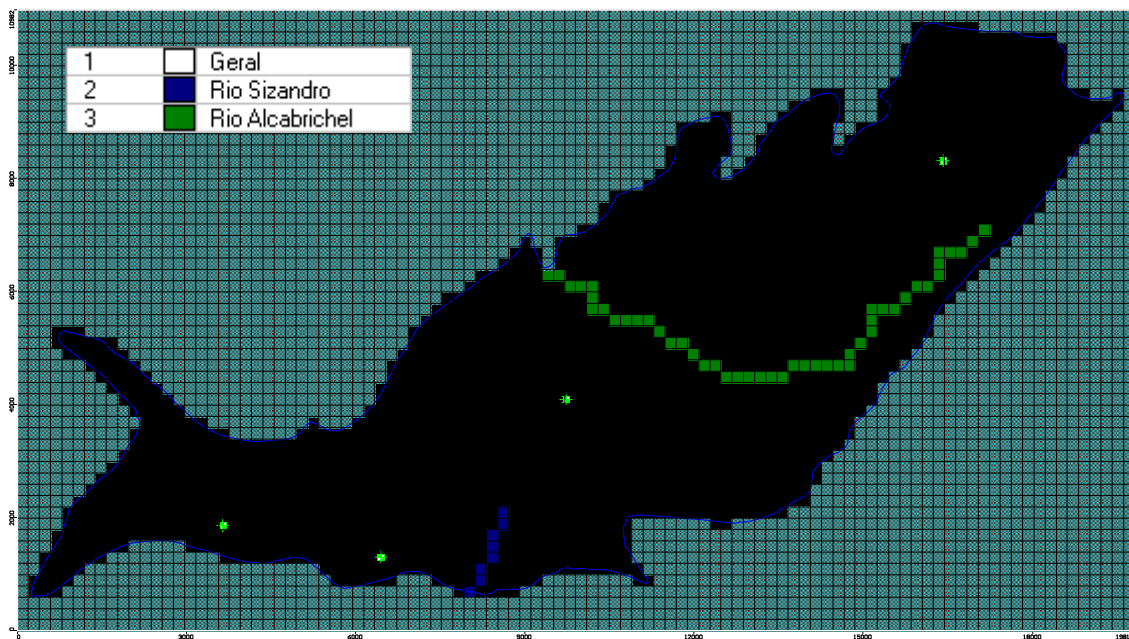


Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.4 – Vetores de fluxo e isopiezas construídas com os resultados da variante 0 do modelo

De forma a estudar o balanço de entradas e saídas de água simuladas pelo modelo definiram-se as subzonas de balanço ilustradas na Figura 1.5. A quantificação dos valores de entrada e saída nestas subzonas para a presente variante do modelo regista-se no Quadro 1.3.

Os resultados desta variante 0 caracterizam-se por gradientes hidráulicos muito baixos (devido aos valores de transmissividade muito elevados). De tal forma assim é que, nestas condições, todo o volume de água escoado na MAS sai desta através do Rio Sizandro, a Sul. Este balanço de saídas deve-se a que o Rio Alcabrichel, a Norte, se encontra a uma altitude muito mais elevada do que o Sizandro. Num sistema real, com uma transmissividade tão elevada e esta geometria, os gradientes muito suaves levariam a que toda a recarga fosse conduzida para a área de saída com menor cota.



Zona 1 corresponde ao balanço de todo o domínio de escoamento, para o qual não há definição de condições de fronteira e apenas ocorre recarga. Zonas 2 e 3 representam o balanço das células do modelo correspondentes aos cursos de água que se consideram em conexão com o aquífero. São representados os piezómetros para os quais existem dados.

Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.5 – Zonas de cálculo de balanço, de cada um dos grupos de células que representam saídas naturais consideradas no modelo.

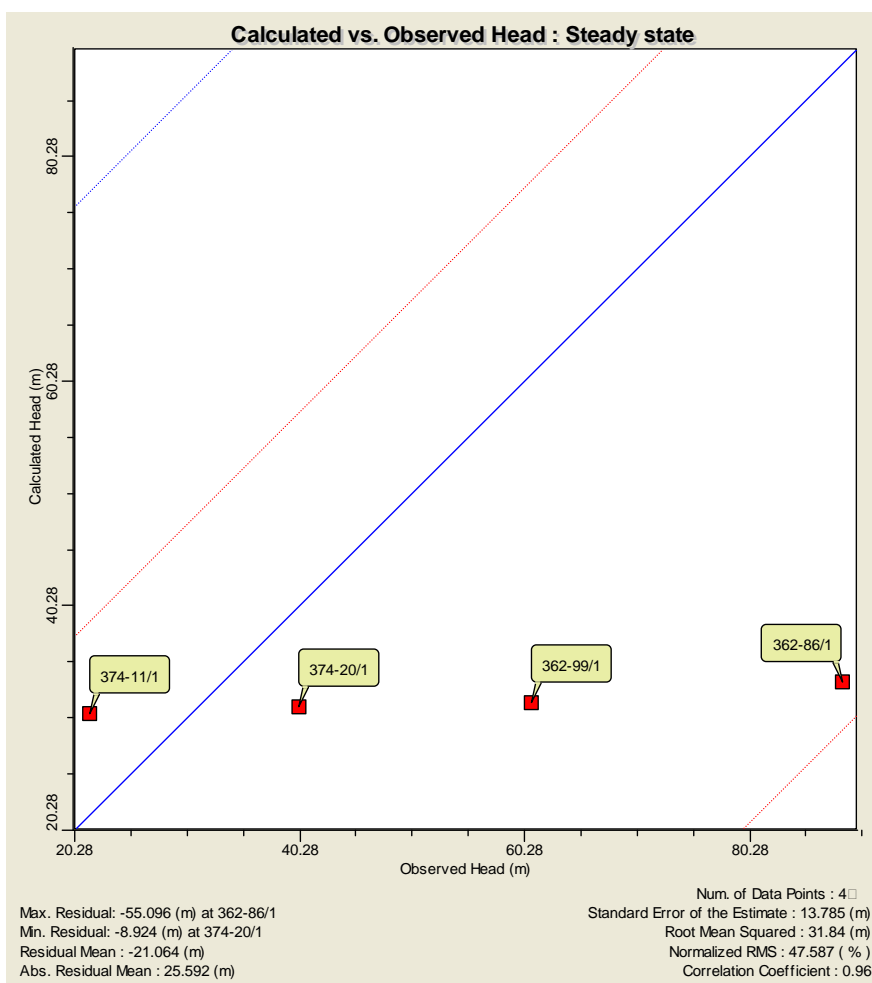
Nas condições descritas para a presente variante do modelo existem algumas semelhanças com os sentidos regionais de escoamento inferidos a partir dos dados piezométricos. No entanto, nesta variante o modelo conceptual não reproduz corretamente duas características importantes do sistema: as saídas naturais a Norte, ao longo do Rio Alcabrichel, e a presença da divisória de águas, que está associada, no “sistema real” às saídas naturais neste curso de água e também ao Rio Sizandro, mais a Sul. Esta divisória de águas foi claramente identificada no modelo conceptual apresentado em Vieira da Silva (2010). As diferenças entre os potenciais hidráulicos registados nos piezómetros disponíveis e os valores calculados no modelo para esta variante são ilustrados na Figura 1.6.

De acordo com os resultados obtidos optou-se por prosseguir o trabalho de modelação realizando simulações semelhantes à atual, com valores de transmissividade equivalente à escala regional mais baixos, de forma a investigar se é possível efetuar uma representação mais fiável do domínio de escoamento, recorrendo à sua representação através de um valor único de transmissividade (uma vez que o escasso

número de pontos de monitorização de piezometria não permite a definição de um zonamento para este parâmetro hidráulico).

Quadro 1.3 – Balanço de entradas e saídas nas zonas de balanço consideradas no modelo

Área de Balanço	Recarga		Saídas	
	(m3/dia)	(hm3/ano)	(m3/dia)	(hm3/ano)
Zona 1 [Geral]	37506,00	13,69	0,00	0,00
Zona 2 [Rio Sizandro Sul]	146,01	0,05	38491,00	14,05
Zona 3 [Rio Alcabrichel Norte]	857,81	0,31	0,00	0,00
Balanço Total	38509,82	14,06	38491,00	14,05

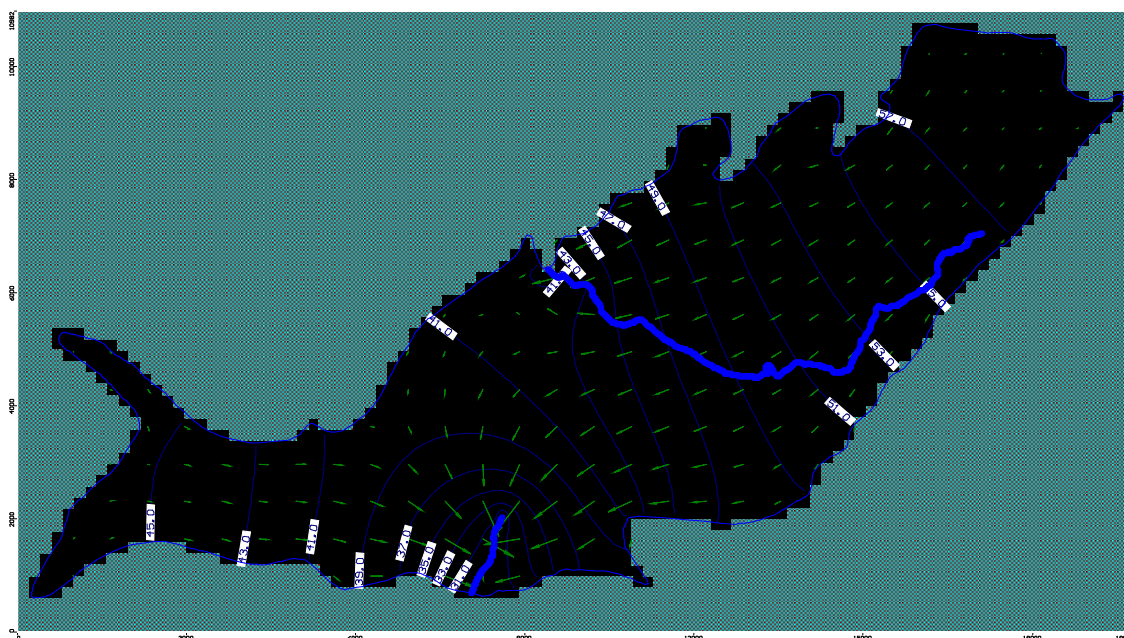


Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.6 – Comparação de potenciais hidráulicos observados na rede piezométrica e calculados pelo modelo

1.3.4 Variante 1 do modelo regional de fluxo – controlo regional do escoamento baseado na conexão hidráulica com a rede hidrográfica

Na presente variante do modelo mantêm-se as condições de fronteira e demais características da variante 0, com exceção do valor de transmissividade equivalente regional que, neste caso se baixou para 10^{-4} m/s para toda a MAS. Tendo em conta a espessura do domínio de escoamento (150 m), obtém-se assim uma transmissividade de 1296 m²/dia. Como se pode verificar através das isopiezas e vetores de fluxo ilustrados na Figura 1.7, para este valor de transmissividade começa a verificar-se a existência de saídas naturais no Rio Alcabrichel a Norte (apesar de estas se verificarem, exclusivamente, no seu sector final, junto à saída do curso de água da área da MAS). Os volumes das saídas para cada um destes cursos de água registam-se no Quadro 1.4.



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.7 – Vetores de fluxo e isopiezas construídas com os resultados da variante 1 do modelo

Os resultados desta variante caracterizam-se por gradientes hidráulicos mais acentuados do que os correspondentes à variante anterior (devido à diminuição do valor de transmissividade). Nestas condições, o Rio Sizandro, a Sul, deixa de ser a única área de descarga da MAS, como se verificava na variante anterior.

Nas condições descritas para a presente variante do modelo, as semelhanças com os sentidos regionais de escoamento inferidos a partir dos dados piezométricos,

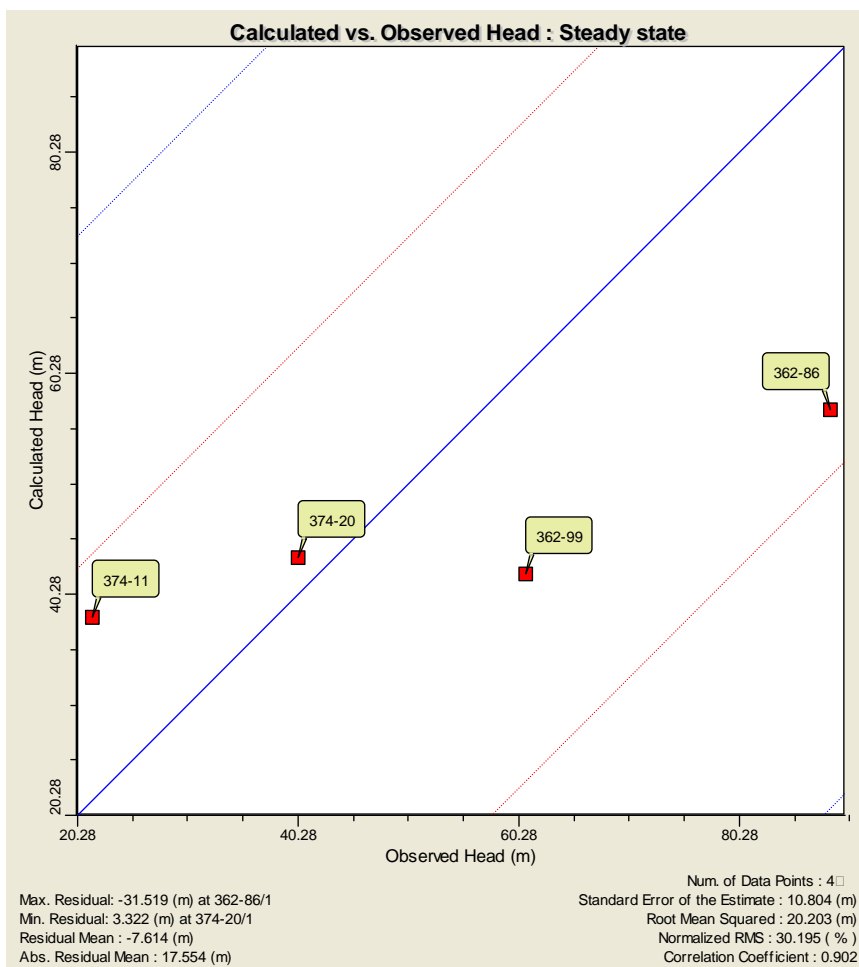
aumentam relativamente à variante anterior. Com o início verificado das saídas naturais ao longo do Rio Alcabrichel, a Norte, a divisória de águas, detetada no “sistema real”, associada às saídas naturais neste curso de água e também ao Rio Sizandro, mais a Sul, surge igualmente na presente variante do modelo. Recorda-se que esta divisória de águas foi claramente identificada no modelo conceptual apresentado em Vieira da Silva (2010).

Quadro 1.4 – Balanço de entradas e saídas nas zonas de balanço consideradas no modelo

Área de Balanço	Recarga		Saídas	
	(m3/dia)	(hm3/ano)	(m3/dia)	(hm3/ano)
Zona 1 [Geral]	37506,00	13,69	0,00	0,00
Zona 2 [Rio Sizandro Sul]	146,01	0,05	28739,00	10,49
Zona 3 [Rio Alcabrichel Norte]	857,81	0,31	9728,70	3,55
Balanço Total	38509,82	14,06	38467,70	14,04

As diferenças entre os potenciais hidráulicos registados nos piezómetros disponíveis e os valores calculados no modelo para esta variante são ilustrados na Figura 1.8. Apesar dos avanços produzidos pela redução da condutividade hidráulica equivalente à escala do aquífero, a observação da Figura 1.8 mostra que se continua a ter um erro importante na simulação da distribuição espacial da piezometria. A divisória de águas que caracteriza o modelo conceptual proposto por Vieira da Silva (2010) continua a ser mais significativa do que a simulada pela presente variante do modelo.

Em face dos resultados obtidos na presente variante optou-se, mais uma vez por prosseguir o trabalho de modelação realizando simulações semelhantes à atual, com valores de transmissividade equivalente à escala regional mais baixos, de forma a tentar verificar em que medida se consegue uma aproximação mais realista do funcionamento da MAS considerado no modelo conceptual.



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

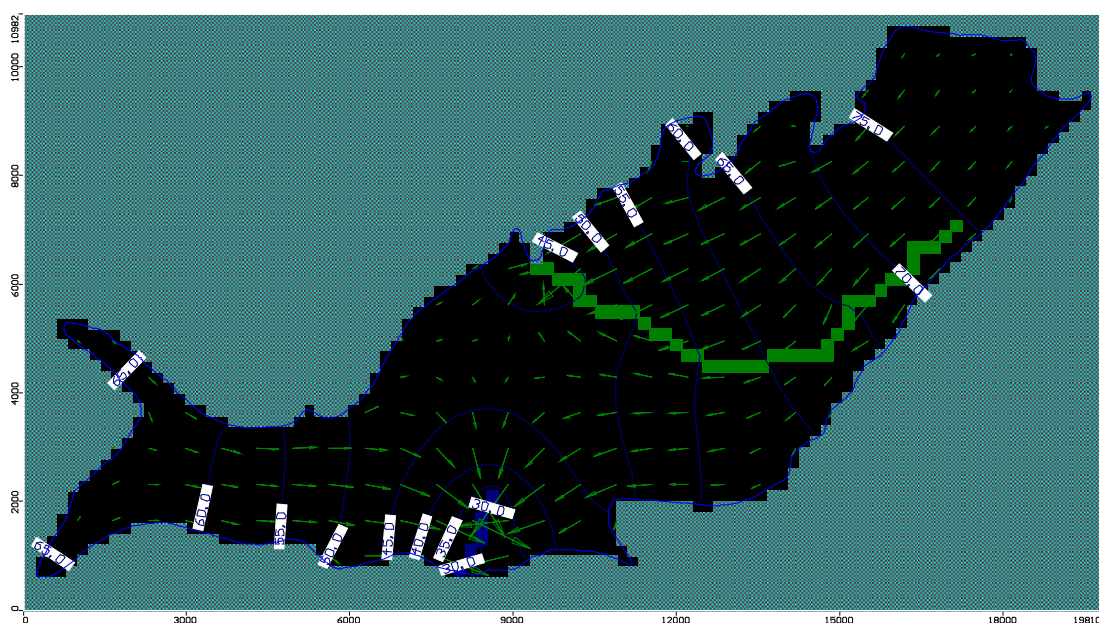
Figura 1.8 – Comparação de potenciais hidráulicos observados na rede piezométrica e calculados pelo modelo

1.3.5 Variante 2 do modelo regional de fluxo – controlo regional do escoamento baseado na conexão hidráulica com a rede hidrográfica

Na presente variante do modelo mantêm-se as condições de fronteira e demais características das duas variantes anteriores, com exceção do valor de transmissividade equivalente regional que, neste caso, se baixou para $3,858 \times 10^{-5}$ m/s para toda a MAS. Tendo em conta a espessura do domínio de escoamento (150 m), obtém-se assim uma transmissividade de 500 m²/dia. Este valor encontra-se pois ligeiramente acima dos valores de transmissividade determinados para esta MAS a partir de ensaios de bombagem. Como anteriormente referido, estes variam entre 2,5 m²/dia e 400 m²/dia, de acordo com a síntese de dados efetuada durante o presente plano. A mediana da produtividade das captações é de 6 l/s (Almeida et al., 2000). Como atrás se referiu, Vieira da Silva (2010) apresenta dois exemplos de perfis

de rebaixamento de ensaios de bombagem a caudal constante de 10,5 l/s e 2 l/s, para os quais se obtiveram, respetivamente, transmissividades de 166 m²/dia e 41 m²/dia. De acordo com o aumento que invariavelmente se verifica nos valores de transmissividade com a escala de observação em meios porosos, o valor de transmissividade empregue nesta variante à escala regional aproxima-se pois dos valores mínimos que será verossímil admitir, a esta escala, para a condutividade hidráulica equivalente para este domínio de escoamento.

Como se pode verificar através das isopiezas e vetores de fluxo ilustrados na Figura 1.9, para este valor de transmissividade incrementa-se a importância das saídas naturais no Rio Alcabrichel, a Norte, relativamente à variante anterior.



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.9 – Vetores de fluxo e isopiezas construídas com os resultados da variante 1 do modelo

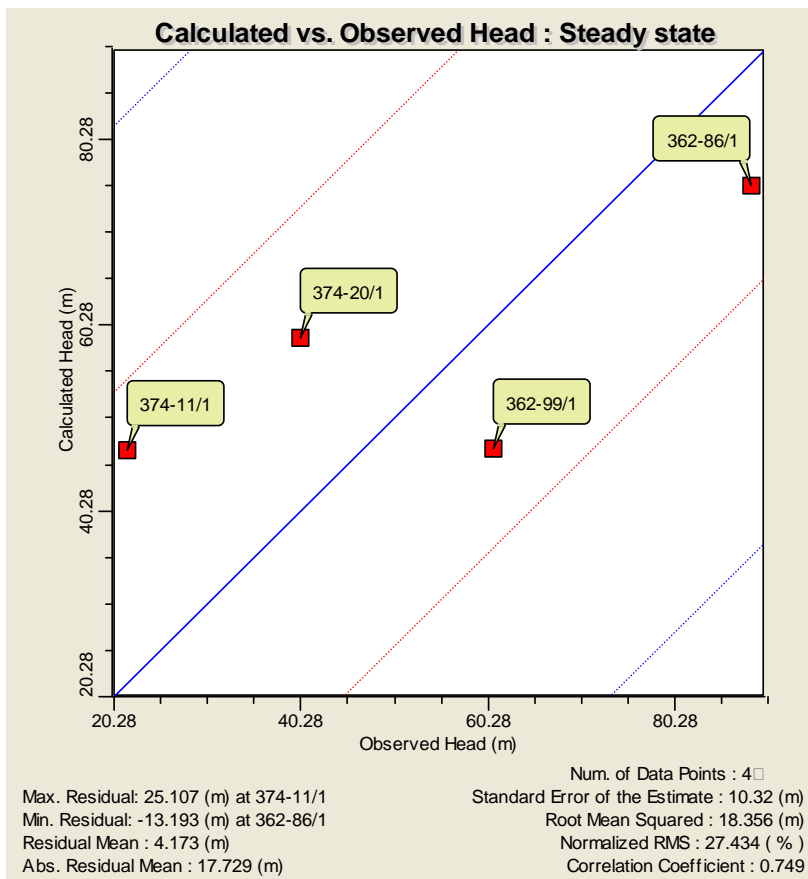
Ao contrário do que se verificava na variante anterior, estas transferências deixam de se verificar exclusivamente no sector final do Rio Alcabrichel, junto à saída do curso de água da área da MAS, estendendo-se a extensão efluente do curso de água mais para montante.

Os volumes das saídas para cada um dos cursos de água que constituem área de descarga da MAS registam-se no Quadro 1.5. Pode verificar-se que nas condições da atual variante a ordem de grandeza das saídas em cada uma das zonas de descarga natural se aproxima mais da situação real do que nos casos anteriores.

Quadro 1.5 – Balanço de entradas e saídas nas zonas de balanço consideradas no modelo

Área de Balanço	Recarga		Saídas	
	(m3/dia)	(hm3/ano)	(m3/dia)	(hm3/ano)
Zona 1 [Geral]	37506,00	13,69	0,00	0,00
Zona 2 [Rio Sizandro Sul]	146,01	0,05	19434,00	7,09
Zona 3 [Rio Alcabrichel Norte]	857,81	0,31	19003,00	6,94
Balanço Total	38509,82	14,06	38437,00	14,03

A observação da Figura 1.10 mostra que ocorre uma diminuição dos erros associados à simulação da distribuição espacial da piezometria. A divisória de águas que caracteriza o modelo conceptual proposto por Vieira da Silva (2010) passa a ser reproduzida de forma mais fiável do que a simulada através das variantes anteriores do modelo.



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.10 – Comparação de potenciais hidráulicos observados na rede piezométrica e calculados pelo modelo

1.4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS TRABALHOS DE MODELAÇÃO

Tal como requerido nos termos de referência do presente plano foi desenvolvido um modelo matemático para esta MAS. Utilizou-se com este fim o programa “MODFLOW - modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model”. Este modelo é um programa de domínio público e de utilização gratuita, disponibilizado pelo United States Geological Survey (USGS). Este modelo baseia-se na utilização do método das diferenças finitas para simulação de escoamentos subterrâneos, permitindo a análise da sua interação com as massas de água superficiais associadas. O fornecimento dos ficheiros não é feito no entanto no formato livre do programa, já que foi explicitamente exigida a utilização de um pré e pós processador comercial (Waterloo Hydrogeologic, Visual MODFLOW).

Após longo trabalho de modelação, dividido em 3 variantes detalhadamente descritas, corroborou-se claramente que o modelo conceptual de funcionamento hidráulico disponível para a MAS permite a definição de um modelo numérico que descreve de forma correta do seu padrão regional de escoamento.

As linhas de água efluentes do rio Alcabrichel na área norte da MAS e do rio Sizandro, a sul da MAS, estão em conexão hidráulica com a MAS, da qual recebem caudal de base. Estas saídas naturais têm um papel preponderante na definição do padrão regional de escoamento subterrâneo nesta massa de águas subterrâneas.

O trabalho de modelação efetuado foi levado tão longe quanto possível tendo em conta o acervo de dados hidrogeológicos disponíveis. Este trabalho permitiu concluir de forma taxativa que a evolução deste modelo, no sentido de uma descrição fiável das variáveis de estado, está dependente da recolha adicional de dados de campo. A disponibilidade de dados em apenas quatro piezómetros não é suficiente para uma calibração que exige um zonamento de transmissividades que só pode ser empreendido se for criteriosamente densificada a rede piezométrica atualmente disponível. Apesar desta limitação tudo indica que o modelo implementado poderá vir a constituir um excelente instrumento de gestão desta massa de água subterrânea.

2. IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

2.1 INTRODUÇÃO

Na modelação desta massa de águas subterrâneas foram simuladas as condições decorrentes dos cenários de alterações climáticas, previstas para os horizontes de 2050 e 2080. O cenário de emissões considerado foi o cenário A1B, que corresponde a um cenário de crescimento económico global rápido, e equilíbrio entre diferentes tipos de fontes energéticas. Usou-se como base para as modificações das séries de precipitação e temperatura os dados de variação do estudo ENSEMBLES, o qual avaliou as alterações climáticas para a Europa com base em diferentes modelos climáticos regionais, e que são apresentados para a bacia hidrográfica do Tejo pelo estudo Impactos das Alterações Climáticas Relacionados com os Recursos Hídricos (2010).

As séries modificadas de precipitação, temperatura e evapotranspiração foram usadas para calcular as recargas da massa de águas subterrâneas nas novas condições climáticas, através do modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD. As séries de base abrangem o período de 1979 a 2009 e foram registadas, para a precipitação, no posto udométrico 19B/03UG-Maxial, e para as temperaturas na estação climatológica 19B/02 - Dois Portos.

A aplicação dos cenários de alterações climáticas consiste numa primeira fase em correr o modelo BALSEQ_MOD com as séries climáticas modificadas segundo as previsões propostas para os períodos de 2050 e 2080 e em segundo lugar aplicar os resultados da corrida do modelo BALSEQ_MOD ao modelo de fluxo.

2.2 ESTIMATIVA DA RECARGA EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

A metodologia e resultados apresentados são extraídos de Oliveira et al. (2000).

2.2.1 Modificação das séries de precipitação

As séries de precipitação foram modificadas, por estação do ano, para os horizontes temporais de 2050 e 2080, conforme às taxas de variação da precipitação para estes horizontes temporais, para o cenário climático A1B do estudo Impactos das Alterações Climáticas Relacionados com os Recursos Hídricos (2010). De acordo com estes cenários esperam-se as alterações de precipitação e temperatura, de acordo com a estação do ano, referidas nos Quadro 2.1 e Quadro 2.2.

Quadro 2.1 – Taxas de variação da precipitação para o cenário climático A1B e horizontes temporais para a região de Torres Vedras

Modelo climático	Modelo SMHIRCA _ECHAM5	Média dos modelos ENSEMBLES
Horizonte 2080	Inverno: -4,7%; Primavera: -37,5%; Verão: -61%; Outono: -24,6%	Inverno: +2%; Primavera: -33%; Verão: -51%; Outono: -27%
Horizonte 2050	Inverno: +4%; Primavera: -15%; Verão: -26,8%; Outono: -22,6%	Inverno: +12%; Primavera: -11%; Verão: -29%; Outono: -15%

Quadro 2.2 – Taxas de variação das temperaturas para o cenário climático A1B e horizontes temporais para a região de Torres Vedras

Modelo climático	Modelo SMHIRCA _ECHAM5	Média dos modelos ENSEMBLES
Horizonte 2080	Máxima mensal	Inverno: +2,1°C; Primavera: +3,1°C; Verão: +6,7°C; Outono: +4,1°C
	Mínima mensal	Inverno: +1,9°C; Primavera: +1,9°C; Verão: +3,2°C; Outono: +3°C
Horizonte 2050	Máxima mensal	Inverno: +0,8°C; Primavera: +0,8°C; Verão: +2,6°C; Outono: +1,6°C
	Mínima mensal	Inverno: +0,7°C; Primavera: +0,4°C; Verão: +1,2°C; Outono: +1,1°C

Os meses constituintes de cada estação do ano são para o Inverno: Dezembro, Janeiro, Fevereiro. Para a Primavera: Março, Abril, Maio. Para o Verão: Junho, Julho, Agosto. Para o Outono: Setembro, Outubro, Novembro.

A alteração das séries de precipitação considerou duas metodologias:

(1) Variação constante por estação do ano – nesta metodologia cada evento de precipitação é afectado da taxa de variação correspondente à estação do ano a que pertence. Assim uma precipitação afectada por uma taxa de variação de -25% corresponde um valor que é o da precipitação inicial subtraído de 25% desta precipitação. Ao longo de cada ano, são aplicadas sucessivamente 4 taxas distintas de variação, uma para a Primavera, outra para o Verão, uma terceira para o Outono e uma última para o Inverno.

(2) Variação removendo os eventos menores de precipitação, por estação do ano – nesta metodologia usa-se igualmente uma taxa de variação por estação do ano, a qual é constante para essa estação ao longo dos 30 anos da série, mas neste caso eliminam-se os eventos menores de precipitação no caso em que as taxas de variação assinalam uma redução da precipitação.

A eliminação dos eventos menores é realizada ordenando os valores da série de precipitação de forma decrescente, acumulando a precipitação da série ordenada, e eliminando os eventos de precipitação a partir do momento em que o total acumulado atinge o valor de precipitação resultante da alteração climática para essa estação do ano.

Exemplificando: se a taxa de variação no Inverno é de -25%, a soma das precipitações de Inverno alterado deve ser 75% da soma das precipitações de Inverno da série actual; Ordenando os valores relativos a todos os invernos de forma decrescente e somando cada valor ao valor anterior, vai-se obtendo um valor de precipitação acumulado; quando este valor atinge os 75% da soma das precipitações de Inverno da série actual, colocam-se todas as restantes precipitações = 0, mantendo-se os valores das precipitações acima iguais aos da série actual.

Com esta metodologia privilegiam-se as precipitações mais elevadas em detrimento das menores tentando assim cumprir a premissa de que nos cenários de alterações climáticas as precipitações são mais concentradas.

Nos casos em que as taxas de variação assinalam um aumento da precipitação (em geral no Inverno), executa-se o critério anterior mas afectando previamente todos os valores da série de precipitação de um factor que é 1,5 vezes a taxa de variação. Exemplificando, se no Inverno a taxa de variação da precipitação é de +4%, todos os valores de precipitação do Inverno são multiplicados por 106%, e depois a série é ordenada de forma decrescente, eliminando-se os valores a partir dos quais a precipitação acumulada é superior a 104% da precipitação acumulada da série de precipitação actual.

De igual modo, ao longo de um ano, são aplicadas sucessivamente 4 taxas distintas de variação, para cada estação do ano.

2.2.2 Modificação das séries de temperatura

As séries de temperaturas, necessárias para o cálculo da evapotranspiração, são as séries de temperaturas mínimas e máximas mensais. Ao invés das precipitações, que podem não ocorrer num determinado dia ou conjunto de dias, a temperatura só foi modificada através do método da variação constante por estação do ano, onde cada temperatura é somada do valor da variação média correspondente à estação do ano a que pertence (as projecções indicam sempre subidas das temperaturas), sendo essa variação média constante para a mesma estação do ano, ao longo de toda a série de 30 anos, em conformidade com a variação prevista no modelo climático que se esteja a considerar. Deste modo, ao longo de um ano, são aplicadas sucessivamente 4 valores de variação média, uma para a Primavera, outra para o Verão, uma terceira para o Outono e uma última para o Inverno. Estes valores são distintos para as temperaturas máximas e para as temperaturas mínimas - Quadro 2.2.

2.2.3 Modificação das séries de evapotranspiração

Os modelos de alterações climáticas têm apresentado como resultados as alterações previstas, para além da precipitação média, das temperaturas máxima e mínima médias do ar (Quadro 2.1 e Quadro 2.2). As alterações de temperatura influenciam a evapotranspiração de referência. Sendo assim, podem-se introduzir as alterações expectáveis na fórmula de Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração de referência.

Uma outra variável necessária à corrida do modelo BALSEQ_MOD é a humidade relativa mínima que é influenciada pela alteração das temperaturas mensais mínimas e máximas.

Uma vez que até à data não têm sido publicados resultados relativamente às previsões de alteração da velocidade do vento e da insolação, estas variáveis são congeladas na análise que se apresenta.

Os dados existentes, publicados nos anuários do Instituto de Meteorologia, são a temperatura máxima média mensal (T_{max}), a temperatura mínima média mensal (T_{min}), a humidade relativa média (HR_{med}), a velocidade do vento média mensal (u), e a insolação mensal (ins). Estes dados foram utilizados para estimar a evapotranspiração de referência no âmbito do plano de bacia hidrográfica das ribeiras do Algarve utilizando o método Penman-Monteith da FAO (Allen et al, 1998). São estes dados que são utilizados na modificação das séries de evapotranspiração de referência para os cenários de alterações climáticas.

O cálculo da humidade relativa para cenários de alterações climáticas é feito da seguinte forma:

1º - Cálculo da pressão do vapor de água (e_a), utilizando as temperaturas e a humidade relativa média actuais, mediante a equação:

$$(Eq. 2.1) \quad e_a = HR_{med} \cdot e_s$$

sendo HR_{med} a humidade relativa média e e_s a pressão média de saturação do vapor dada pela equação:

$$(Eq. 2.2) \quad e_s = \frac{e^o(T_{\max}) + e^o(T_{\min})}{2}$$

sendo $e^o(T)$ a pressão do vapor de saturação (kPa) à temperatura T (°C):

$$e^o(T) = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) \quad (Eq. 2.3)$$

2º - Assumindo que a pressão do vapor de água se mantém constante, estima-se a humidade relativa máxima e mínima mediante as equações:

$$(Eq. 2.4) \quad HR_{\min} = \frac{e_a}{e^o(T_{\max})}; \quad HR_{\max} = \frac{e_a}{e^o(T_{\min})};$$

3º - Fazendo a média destes valores de humidade relativa máxima e humidade relativa mínima recalcula-se a humidade relativa média (HR_{med^*});

4º - Por este último processo verifica-se que, devido à não linearidade da variação da humidade relativa com a temperatura, o valor da humidade relativa média agora estimado é diferente do valor existente (HR_{med}). Com base nestes valores calcula-se um factor corretivo $corr_{HR}$ fazendo a relação HR_{med^*} / HR_{med} .

5º - No cálculo da evapotranspiração de referência no cenário de alterações climáticas vai-se considerar que a pressão do vapor de água se mantém como na série atual (o que é uma fragilidade do modelo uma vez que a quantidade de humidade do ar também variará).

6º - Assim, obtêm-se as humidades relativas mínimas e máximas considerando as temperaturas máximas e mínimas dadas pelos cenários de alterações climáticas (Eq. 2.4) e o e_a calculado anteriormente, tendo em atenção o comentário referido em 5º;

7º - Calcula-se a humidade relativa média a partir das humidades relativas calculadas em 6º e corrige-se esta humidade relativa média multiplicando-a pelo factor $corr_{HR}$ obtido em 4º para de alguma forma corrigir a não linearidade da variação da humidade relativa com a temperatura.

8º - O novo valor da humidade relativa média determinado para o cenário de alterações climáticas é utilizado para estimar a humidade relativa mínima necessária

ao cálculo do modelo BALSEQ_MOD, rearranjando e resolvendo em ordem a HR_{\min} as Eq. 2.4, Eq. 2.2 e Eq. 2.1:

$$(Eq. 2.5) \quad HR_{\min} = \frac{e^o(T_{\max}) + e^o(T_{\min})}{2 \cdot e^o(T_{\max})} \cdot HR_{med}$$

Com os novos valores de humidade relativa e de temperatura, e mantendo as restantes variáveis da equação de Penman-Monteith constantes, calculam-se as séries de evapotranspiração de referência em cenários de alterações climáticas.

2.2.4 Aplicação das metodologias apresentadas no cálculo da recarga

Na aplicação das séries meteorológicas de cenários na corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário considerou-se que as variáveis do meio se mantêm constantes. Ou seja, a ocupação do solo mantém-se igual, o que significa que os parâmetros de corrida do modelo dependentes desta ocupação se mantêm inalterados, e os solos e as correspondentes propriedades mantêm-se como na corrida para a série 1979-2009.

Ao todo fizeram-se 16 corridas do modelo BALSEQ_MOD resultantes de: 2 horizontes (2050 e 2080) x 2 modelos (SMHIRCA_ECHAM5 e ENSEMBLES) x 2 formas diferentes de estimar as séries de precipitação (factor constante ou eliminação de mínimos) x 2 séries distintas de evapotranspiração de referência (a série de evapotranspiração alterada de acordo com a metodologia apresentada e a série de evapotranspiração igual à utilizada na série 1979-2009). As corridas foram identificadas como cenários de acordo com o Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Corridas do modelo

Corrida	Modelo	Horizonte	Precipitação	Evapotranspiração de referência
Actual	-	1979-2009	1979-2009	1979-2009
Cenário 11	ENSEMBLES	2050	Correcção constante	1979-2009
Cenário 12				alterada
Cenário 13			Elimina mínimos	1979-2009
Cenário 14				alterada
Cenário 21		2080	Correcção constante	1979-2009
Cenário 22				alterada
Cenário 23			Elimina mínimos	1979-2009
Cenário 24				alterada
Cenário 31	SMHIRCA_ECHAM5	2050	Correcção constante	1979-2009
Cenário 32				alterada
Cenário 33			Elimina mínimos	1979-2009
Cenário 34				alterada
Cenário 41		2080	Correcção constante	1979-2009
Cenário 42				alterada
Cenário 43			Elimina mínimos	1979-2009
Cenário 44				alterada

A opção de correr os modelos de previsão da recarga em cenários de alterações climáticas utilizando a série actual de evapotranspiração de referência prende-se com o facto de no processo de estimativa da evapotranspiração utilizando os dados referidos se gerarem algumas incertezas sobre os valores finais obtidos, fruto da não linearidade da variação de alguns parâmetros com a temperatura e da inexistência nos dados de base das séries de humidade relativa mínima e máxima mensal. Assim, utilizando as duas séries de evapotranspiração obtém-se intervalos de valores.

Os valores obtidos pela corrida do modelo BALSEQ_MOD são os apresentados no Quadro 2.4. Os mesmos valores podem ser visualizados na Figura 2.1. As figuras com a distribuição espacial dos valores de recarga encontrados para cada cenário de alterações climáticas utilizando a média dos modelos ENSEMBLES e o modelo SMHIRCA_ECHAM5 podem ser visualizadas em Oliveira et al. (2012).

Quadro 2.4 – Resultados da corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD para a totalidade do sistema aquífero de Torres Vedras

Corrida	PRC	ETR	ED	REC	% PRC actual	% ETR actual	% ED actual	% REC actual
Actual	713	310	228	176	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Cenário 11	680	295	215	170	95.3%	95.2%	94.5%	96.4%
Cenário 12	680	309	214	157	95.3%	99.7%	94.1%	89.0%
Cenário 13	679	272	235	172	95.2%	87.8%	103.2%	98.0%
Cenário 14	679	284	234	161	95.2%	91.9%	102.8%	91.4%
Cenário 21	579	267	176	136	81.1%	86.2%	77.2%	77.3%
Cenário 22	579	297	174	108	81.1%	95.8%	76.4%	61.5%
Cenário 23	578	233	200	144	81.0%	75.3%	88.0%	82.1%
Cenário 24	578	260	199	120	81.0%	83.8%	87.2%	68.2%
Cenário 31	634	286	197	151	88.9%	92.4%	86.3%	85.9%
Cenário 32	634	290	196	148	88.9%	93.7%	86.2%	83.9%
Cenário 33	634	260	217	156	88.8%	84.0%	95.2%	88.9%
Cenário 34	634	263	217	154	88.8%	85.0%	95.1%	87.3%
Cenário 41	556	260	167	128	77.9%	84.1%	73.4%	72.9%
Cenário 42	556	284	166	106	77.9%	91.6%	72.7%	60.5%
Cenário 43	555	224	194	137	77.8%	72.4%	85.3%	77.6%
Cenário 44	555	244	193	118	77.8%	78.8%	84.7%	67.2%

Valores em mm/ano: PRC – precipitação, ETR – evapotranspiração real, ED – escoamento directo, REC – recarga.
 Valores percentuais: % PRC actual = percentagem da precipitação da série 1979-2009, % ETR actual = percentagem da evapotranspiração da série 1979-2009, % ED actual = percentagem do escoamento directo da série 1979-2009; % REC actual = percentagem da recarga da série 1979-2009.

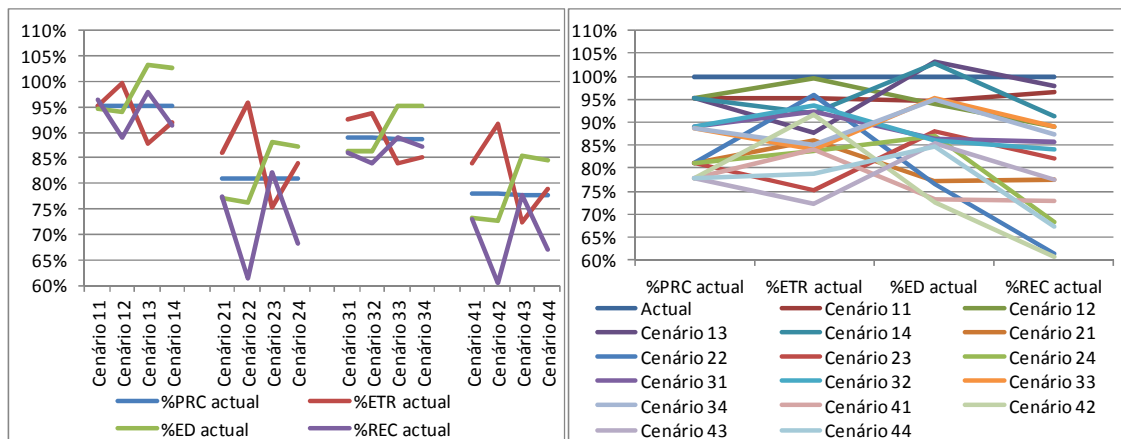


Figura 2.1 – Resultados da corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD para a totalidade do sistema aquífero de Torres Vedras

Os resultados apresentados mostram que os modelos são muito sensíveis quer à distribuição da precipitação, quer ao valor da evapotranspiração.

Se se comparar os métodos de cálculo das séries de precipitação verifica-se que aquele que elimina os mínimos das séries por estação do ano produz resultados de recarga sempre mais elevados do que aquele que aplica a taxa de variação constante por estação do ano a toda a série. Isto explica-se pela formulação subjacente ao

modelo BALSEQ uma vez que precipitações menores tendem a ficar armazenadas no solo e a serem evapotranspiradas, não constituindo por isso recarga de aquíferos.

Comparando as corridas que utilizam a evapotranspiração actual (série 1979-2009) ou a modificada de acordo com as estimativas de variação das temperaturas, verifica-se que as séries modificadas originam maiores reduções da recarga, o que se explica por maior quantidade de água ser evapotranspirada.

Em qualquer dos casos apontados, as taxas de variação de recarga menores ocorrem para as corridas que utilizam a evapotranspiração actual e que utilizam como método de cálculo da série de precipitação aquele que preserva os seus valores mais elevados (ou seja que elimina os mínimos das séries).

Verifica-se que os resultados obtidos também variam em função do modelo de alterações climáticas. Tomando o horizonte de 2050, as variações previstas pela média dos modelos ENSEMBLES apontam para reduções da recarga anual média do sistema aquífero de Torres Vedras entre 11% e 2%, dependendo da forma de estimar as séries de precipitação e de evapotranspiração de referência. Já o modelo SMHIRCA_ECHAM5 estima reduções que podem ser superiores, entre 16% e 11%. Esta situação deve-se a uma taxa de variação positiva superior nos meses de Inverno no caso do modelo ENSEMBLES.

Para o horizonte de 2080, as variações previstas são muito superiores: a média dos modelos ENSEMBLES, origina reduções entre 39% e 18% da recarga anual média e o modelo SMHIRCA_ECHAM5 origina reduções entre 40% e 22%.

Em resumo, para o horizonte de 2050 prevê-se que a recarga média do sistema aquífero de Torres Vedras seja entre 84% e 98% da recarga do período 1979-2009, dependendo das séries de precipitação, temperaturas, e de evapotranspirações de referência utilizadas. Para o horizonte de 2080, dependendo das séries climáticas utilizadas, a recarga média será de 60% a 82% da recarga do período 1979-2009.

2.3 IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA PIEZOMETRIA

A análise dos efeitos da variação da recarga obtida através dos cenários de alterações climáticas foi feita através da corrida do modelo matemático apresentado a secção 1, alterando os valores de recarga e mantendo todos os restantes parâmetros e condições de fronteira da variante 2 do modelo regional de fluxo (secção 1.3.5).

Os cenários de recarga cujo impacto sobre o nível da água foi analisado pela corrida do modelo indicado acima correspondem aos cenários de 2050 e 2080 segundo o modelo SMHIRCA_ECHAM5 para ambos os métodos de modificação da série de precipitação.

2.3.1 Cenário 2050 – Método de variação constante por estação do ano

A corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário através da modificação das séries meteorológicas pelo método da variação constante dos valores de precipitação por estação do ano para o cenário de 2050 permitiu obter a distribuição espacial dos valores de recarga que se apresenta na Figura 2.2.

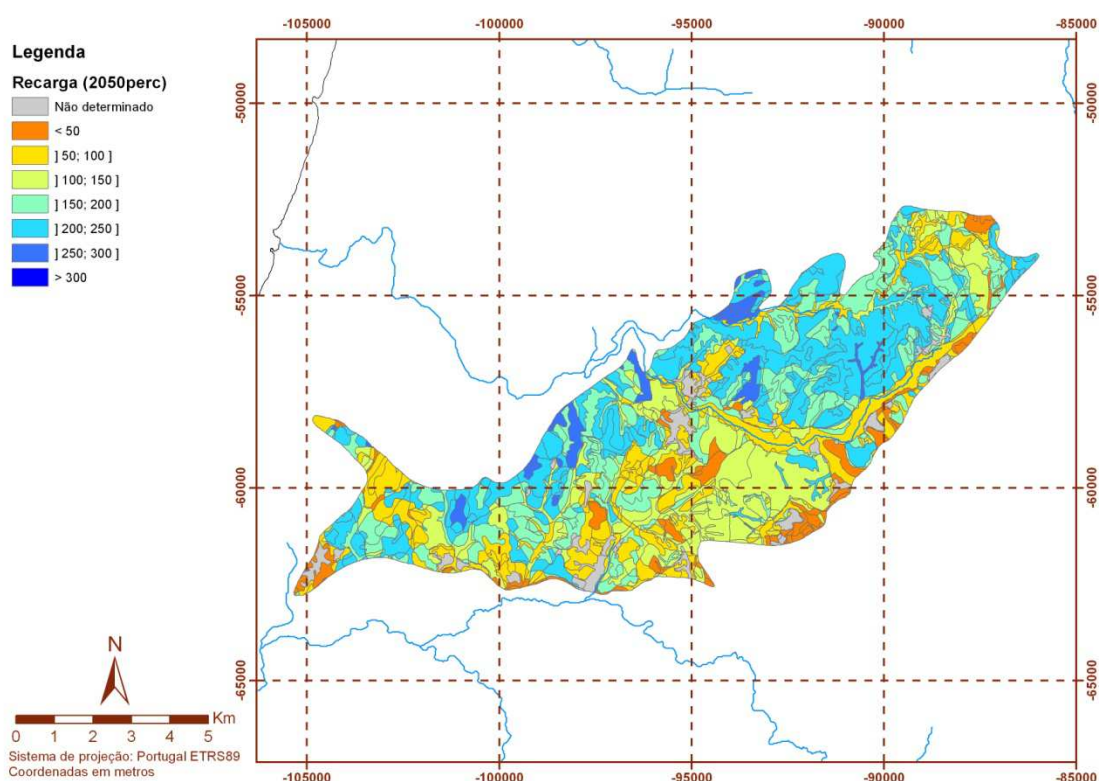


Figura 2.2 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano

No sentido de comparar qual a variação dos valores de recarga atuais para os do cenário apresentado e perceber qual o impacto da aplicação desta metodologia na área do sistema aquífero em estudo calculou-se uma relação entre a recarga para 2050 e a atual – Figura 2.3.

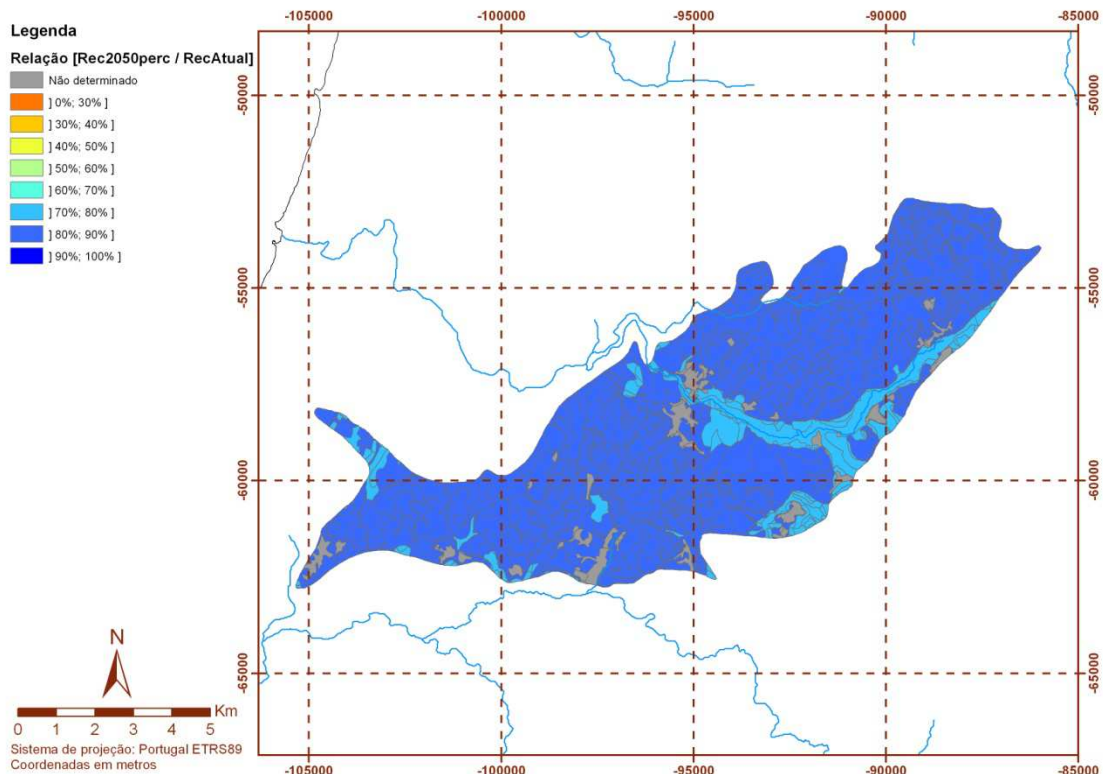


Figura 2.3 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano e a recarga calculada para situação actual

Em média, para toda a área do sistema, a recarga para o cenário de 2050 segundo esta metodologia de modificação da série de precipitação representa cerca de 84% da recarga calculada para o período actual.

Aplicando a distribuição espacial da recarga obtida ao modelo obteve-se uma superfície piezométrica que, no sentido de se perceber quais as áreas do sistema mais afectadas pela diminuição da recarga, foi comparada com a superfície piezométrica actual através do cálculo da diferença entre ambas. A Figura 2.4 apresenta a distribuição espacial das diferenças piezométricas.

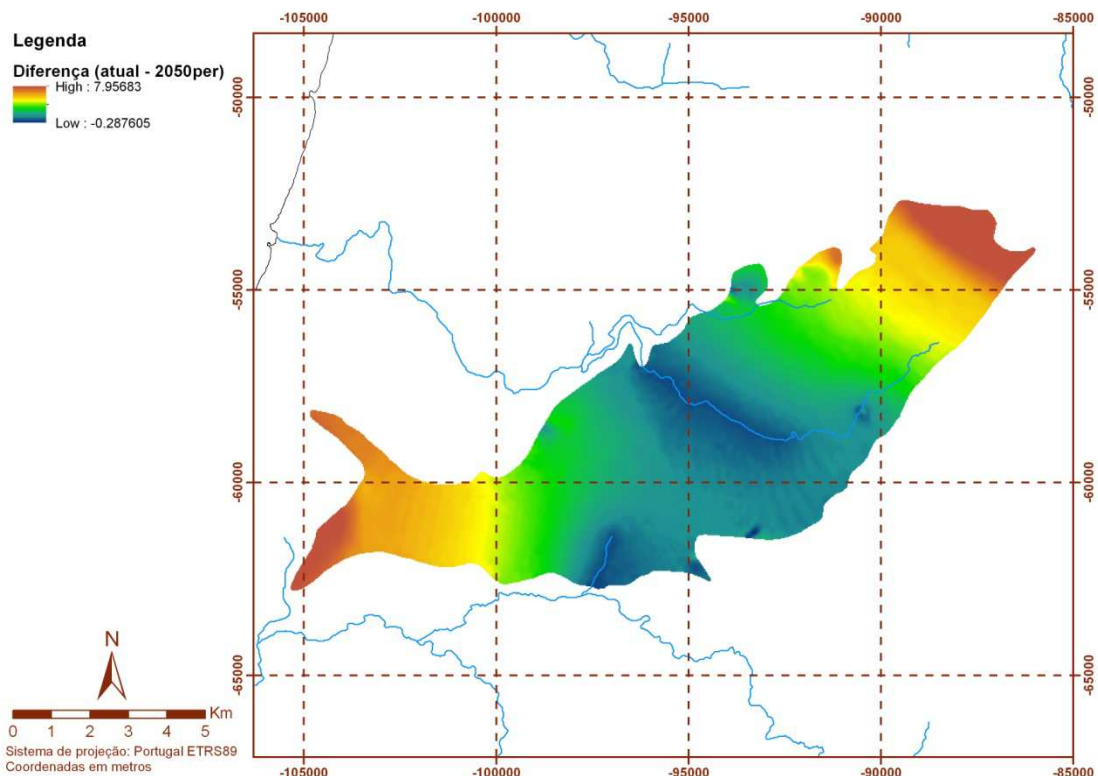


Figura 2.4 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano e o nível obtido para a situação actual

As áreas nas extremidades NE e W do sistema aquífero de Torres são as que apresentam maior variação entre a piezometria média actual e futura. Pode deduzir-se que existe alguma incerteza associada ao resultado obtido para estas áreas, atendendo ao facto de estas não possuírem pontos de calibração suficientes, resultado da escassez de dados de campo, para assegurar que o nível piezométrico representado é o reflexo da realidade (este facto foi já referido na secção 1). Quanto à zona central do sistema verifica-se que haverá um aumento pouco significativo da piezometria em particular nas zonas mais deprimidas junto das linhas de água.

Através do modelo digital do terreno para a região foi calculada, pela diferença entre a cota do terreno e a cota do nível da água (nível piezométrico) a profundidade do nível da água – Figura 2.5.

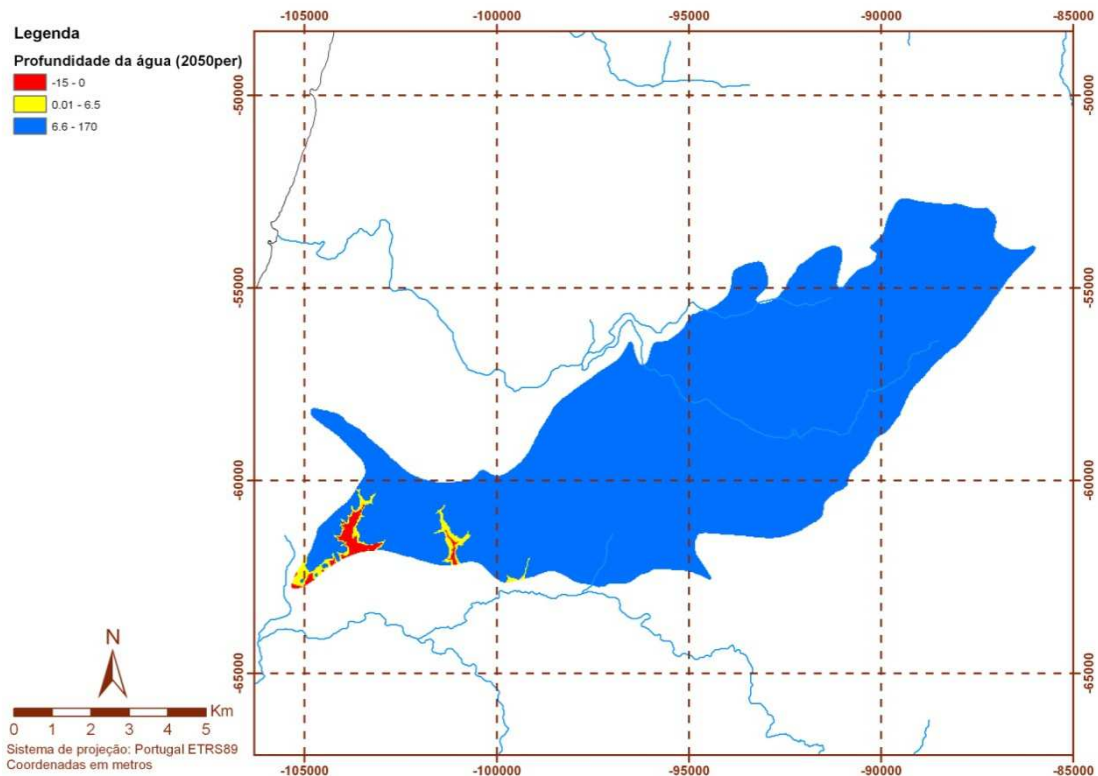


Figura 2.5 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano

Nas classes usadas, as áreas a vermelho correspondem às zonas em que o nível da água se encontra acima da superfície (nível da água negativo). A segunda classe, a amarelo foi definida em função da análise da variação piezométrica no sistema aquífero – Quadro 2.5. Definiu-se através da observação dos valores registados de piezometria e da sua variação ao longo do tempo nos pontos 362/86, 362/89, 362/99, 374/11 e 374/20 que o valor máximo da variação registada seria de 6,5 m, pelo que se definiu na figura todas as áreas sujeitas à variação do nível piezométrico. A tabela de valores obtidos através do SNIRH (www.snirh.pt) utilizados para esta análise encontra-se no Anexo 2.

Quadro 2.5 – Análise estatística dos valores de piezometria medidos nos pontos localizados na área do sistema aquífero

	Nível piezométrico (m)	Profundidade do nível da água (m)
Média	50.61	20.39
Máximo	53.13	24.38
Mínimo	46.62	17.87
Diferença (max - min)	6.51	6.51

Verifica-se pela observação da Figura 2.5 que as áreas cujo valor da profundidade do nível da água é inferior a 6,5 m se concentram na região W do sistema aquífero, ocupando as áreas correspondentes ao intervalo entre os 0 e 5 m (marcado a amarelo) uma estreita faixa em torno das áreas marcadas a vermelho em que o nível se encontra acima da superfície topográfica.

Comparativamente à situação actual, este parâmetro mostra maiores variações essencialmente na diminuição das áreas correspondentes ao intervalo de valores entre 0 e 6,5 m (zonas a amarelo) – Figura 2.6.

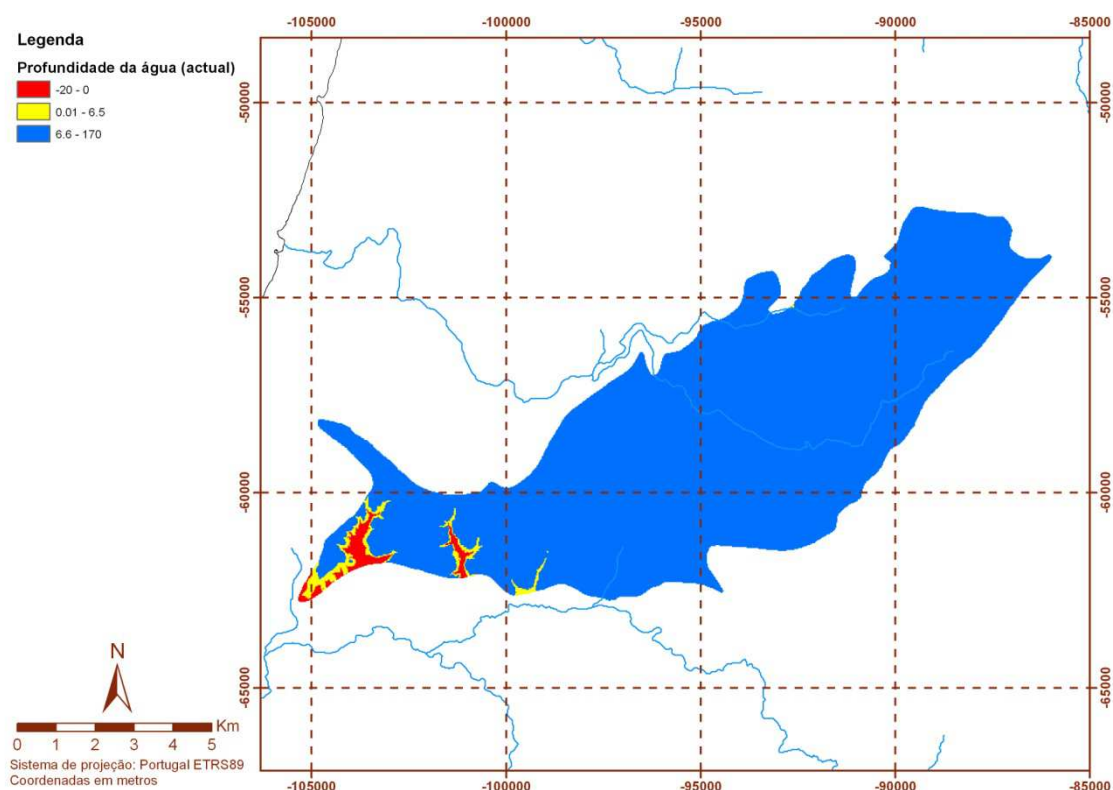


Figura 2.6 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para a situação actual

2.3.2 Cenário 2050 – Método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

A aplicação do método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano à série utilizada na corrida do modelo BALSEQ_MOD permitiu obter o seguinte conjunto de valores de recarga distribuídos espacialmente na Figura 2.7.

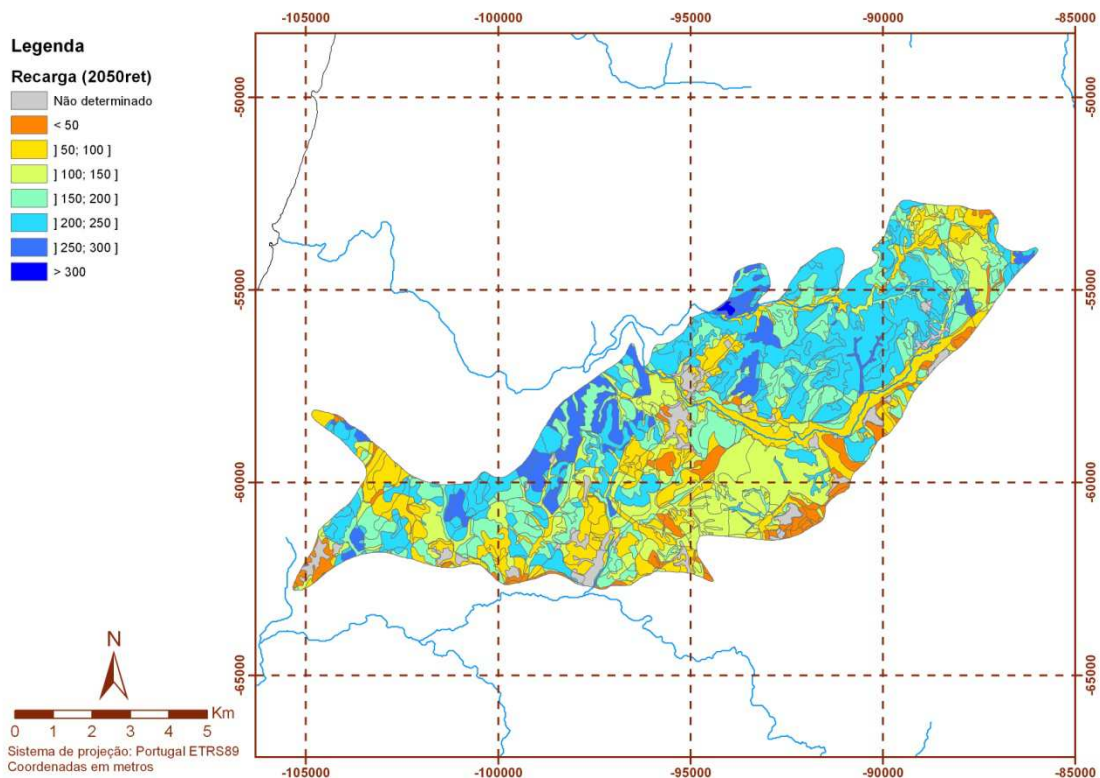


Figura 2.7 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

Se se sobrepor estes valores aos apresentados na Figura 2.2 pode observar-se que este método de tratamento da série de precipitação resulta em valores de recarga ligeiramente superiores.

Ainda em comparação com a recarga atual foi calculada uma relação entre ambas, que se apresenta no mapa da Figura 2.8.

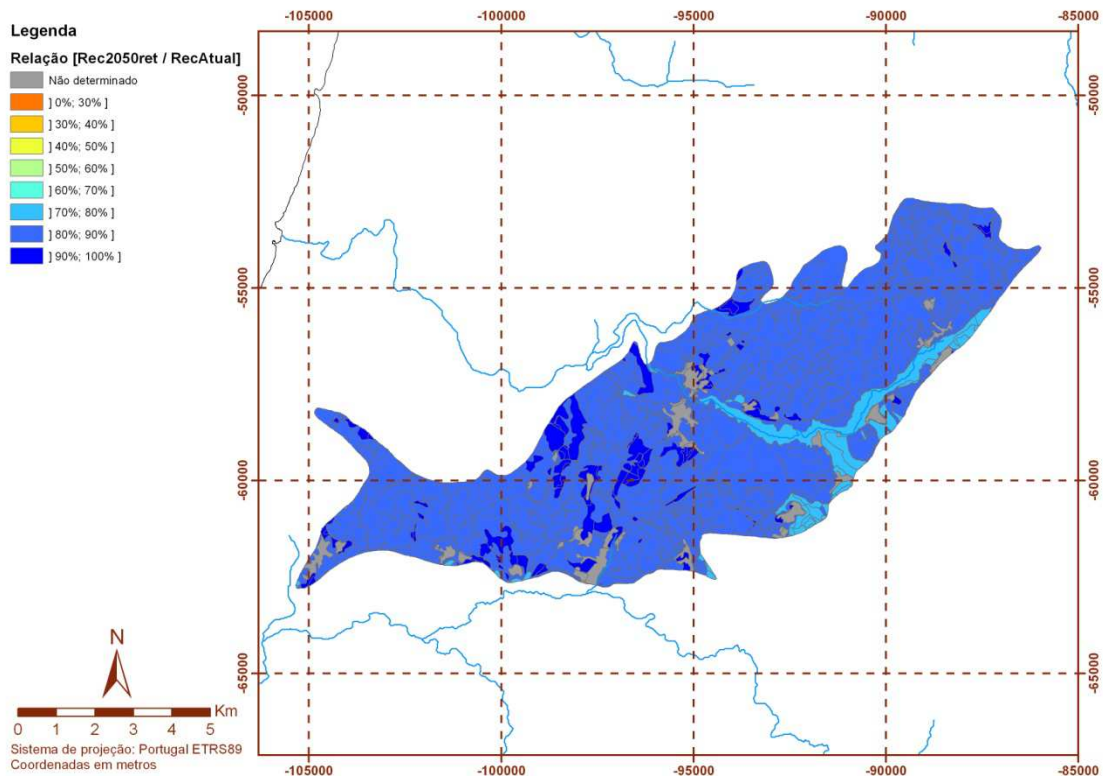


Figura 2.8 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

Como seria de esperar a relação calculada apresenta valores ligeiramente superiores aos obtidos para o mesmo cenário quando se utilizou a correção constante da precipitação.

Da aplicação destes valores de recarga ao modelo foi possível calcular a diferença entre as superfícies piezométricas atual e a obtida para este cenário – Figura 2.9.

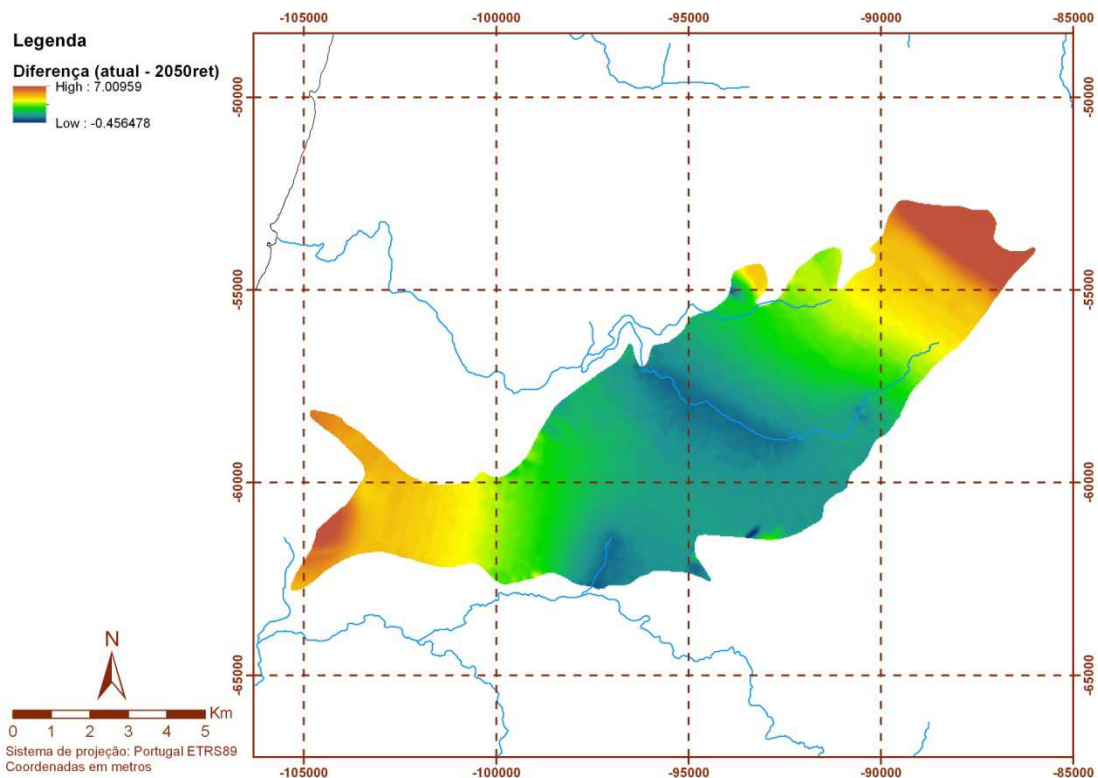


Figura 2.9 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano e o nível obtido para a situação actual

Em geral os resultados não diferem dos da Figura 2.4, mantendo-se as áreas de maior variação dos níveis piezométricos nas regiões NE e W do sistema aquífero.

Utilizando os intervalos propostos na secção 2.3.1 foi determinado com base no cálculo da diferença entre o modelo digital do terreno e a piezometria obtida pela corrida do modelo matemático a profundidade do nível da água - Figura 2.10.

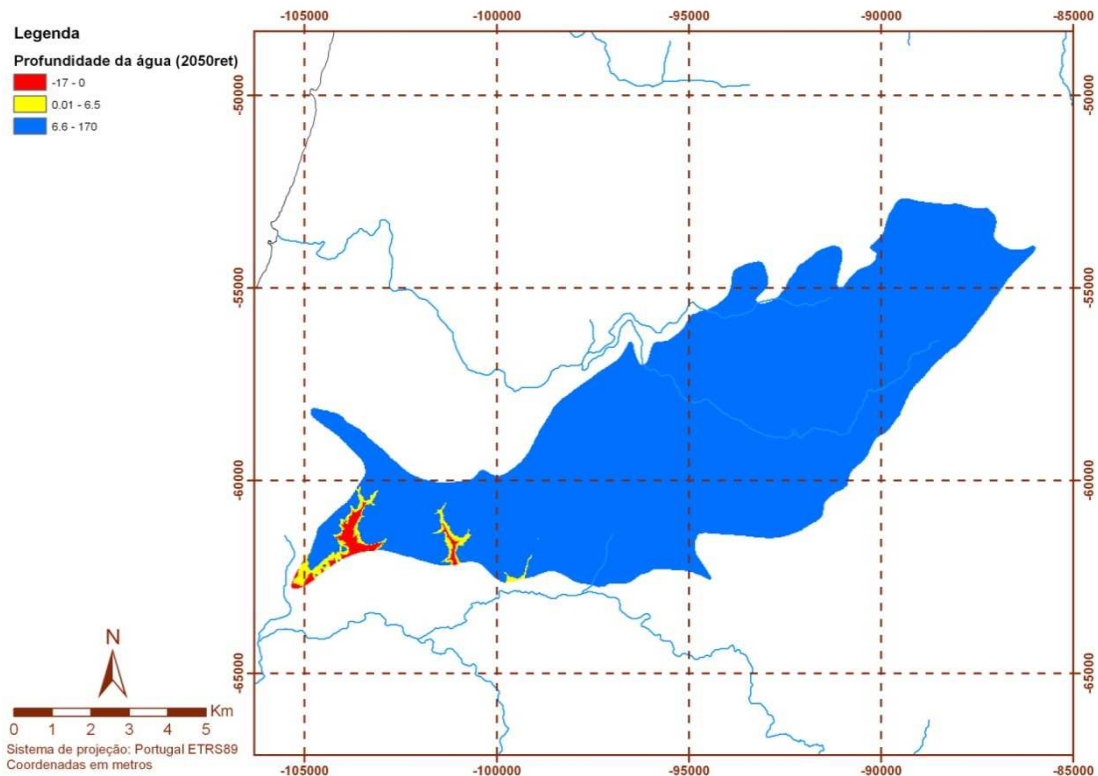


Figura 2.10 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano

Comparativamente ao cenário estabelecido para este mesmo horizonte temporal segundo a metodologia de variação constante por estação do ano, não se registam igualmente alterações significativas no impacto da recarga, sendo que as áreas em que o nível da água se encontra acima da superfície se concentram igualmente na região W do sistema aquífero.

2.3.3 Cenário 2080 – Método de variação constante por estação do ano

Procedeu-se ao cálculo da recarga através do modelo de balanço hídrico para o cenário de 2080 para o método de modificação dos valores de precipitação pela variação constante por estação do ano. A Figura 2.11 apresenta a distribuição espacial dos valores da recarga para a área de estudo.

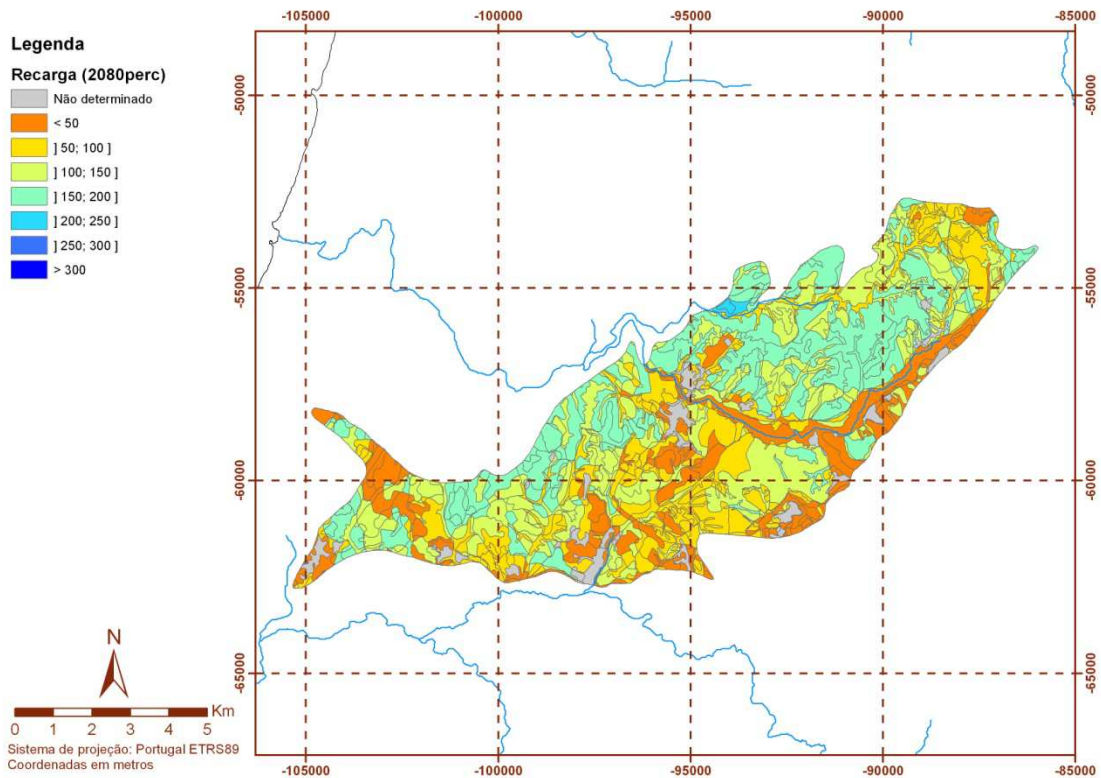


Figura 2.11 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano

Comparando os valores atuais de recarga e os obtidos para este cenário, calculou-se, como se apresenta na Figura 2.12, a relação entre ambos.

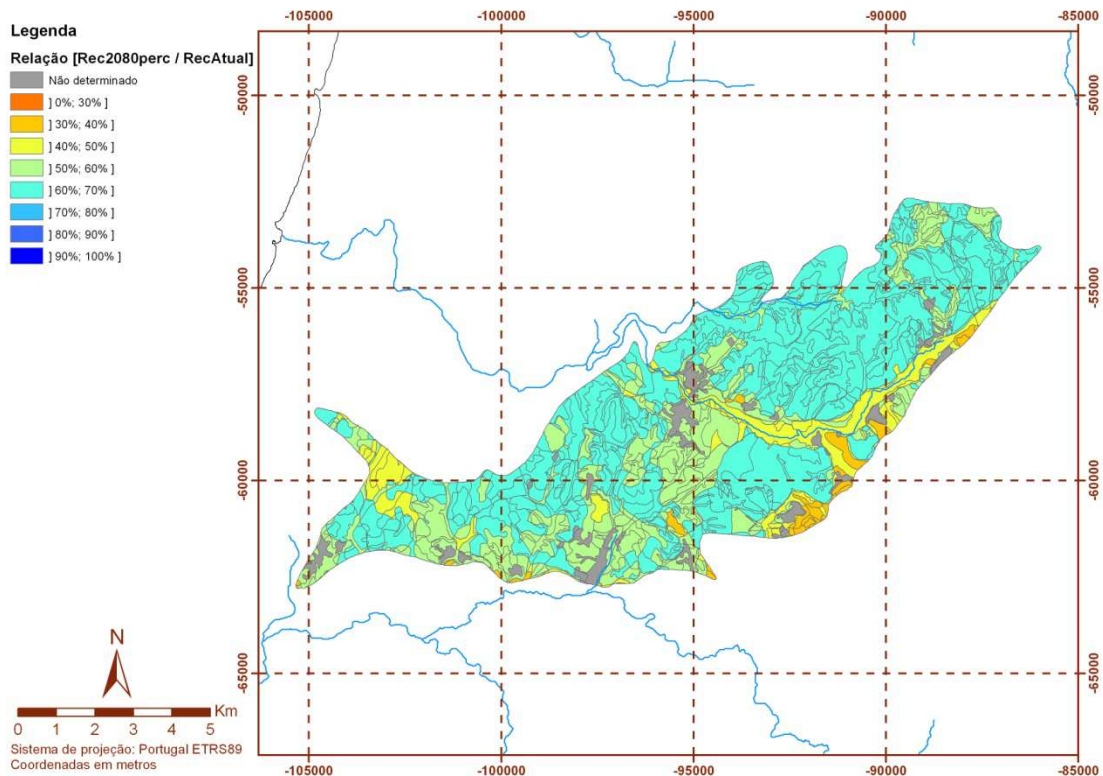


Figura 2.12 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano e a recarga calculada para situação actual

Se se fizer a comparação com os valores obtidos para ambos os cenários no horizonte de 2050 verifica-se que a recarga chega a ser cerca de 30% da recarga atual, e no máximo 70% desta.

A avaliação do impacto da diminuição da recarga é feita, tal como o procedimento adotado para o cenário de 2050, através da diferença entre o nível piezométrico atual e o nível obtido através da corrida do modelo matemático – Figura 2.13.

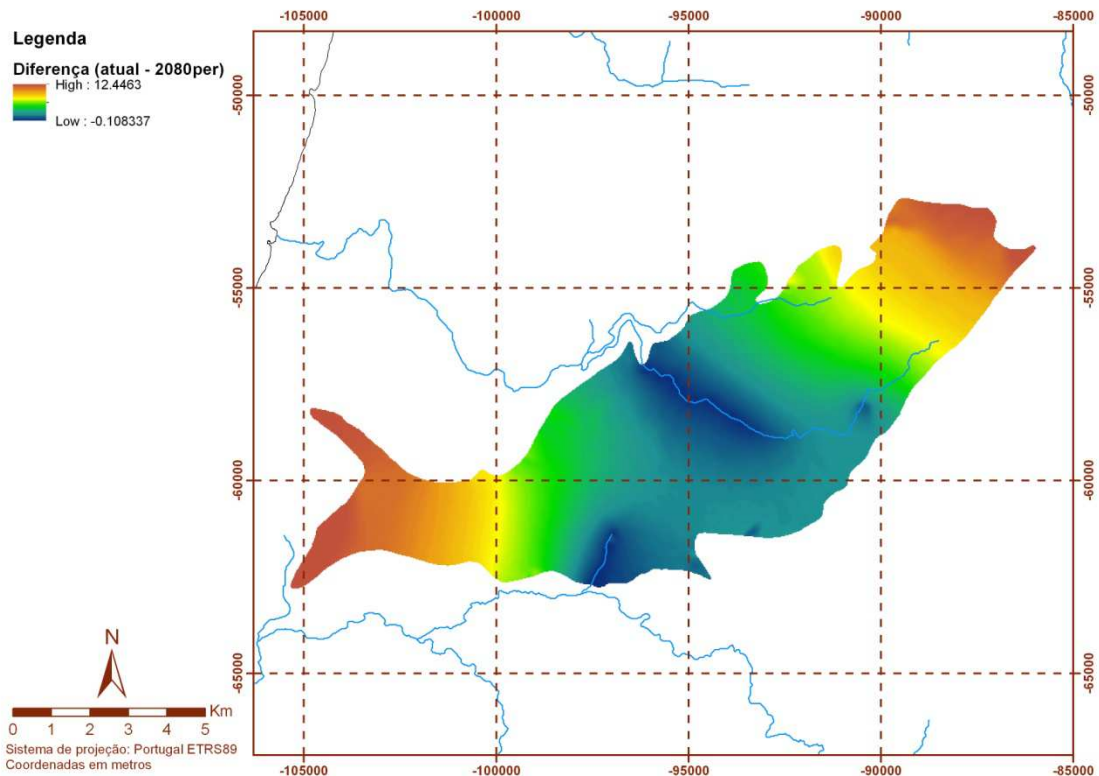


Figura 2.13 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano e o nível obtido para a situação actual

O resultado do cálculo espacial da diferença dos níveis é muito semelhante ao obtido para os cenários anteriores. No entanto o valor máximo da diferença é neste cenário superior, atingindo os 12 metros. Este é portanto o reflexo da diminuição dos níveis piezométricos induzida pela diminuição da recarga.

Finalmente, mantendo os critérios anteriores, apresenta-se na Figura 2.14 a distribuição espacial por classes da profundidade do nível da água.

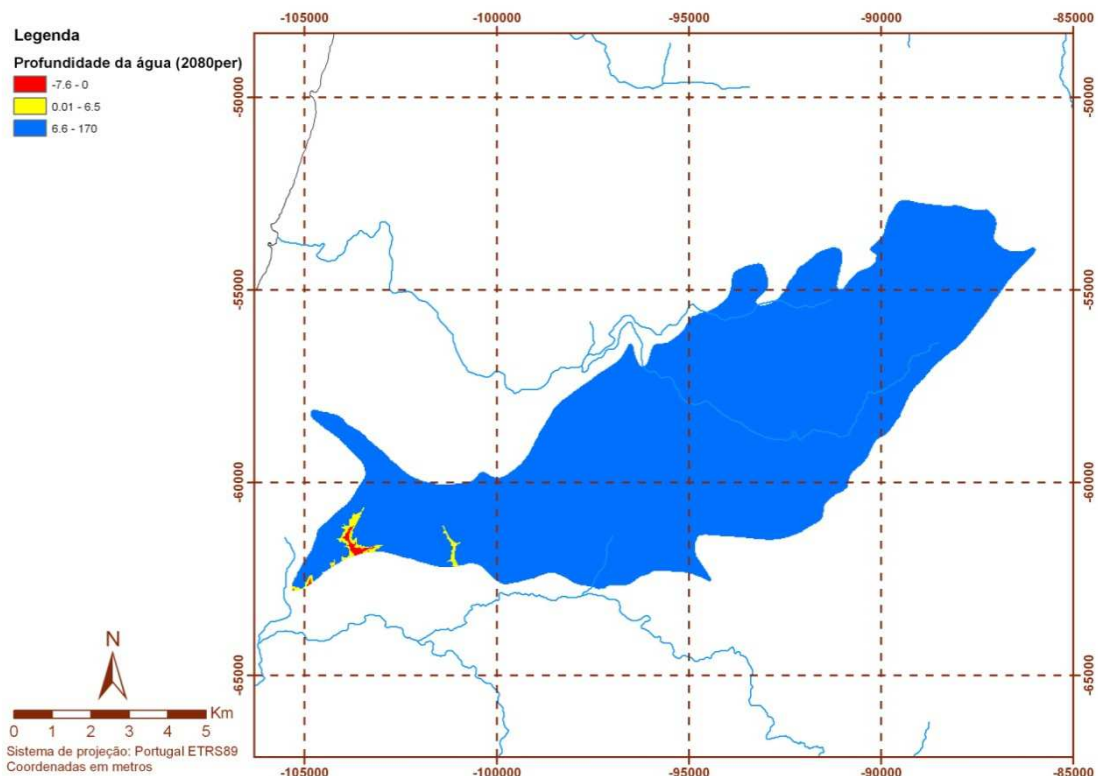


Figura 2.14 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano

Pode verificar-se que existe uma diminuição, quando sobreposta aos cenários anteriores e à situação atual, das áreas que se encontram incluídas nas classes $[-7,6; 0[$ e $]0; 6,5[$, observando-se o impacto da diminuição dos níveis piezométricos nas áreas em que o nível tende a estar acima da superfície, mesmo que apenas por algumas épocas do ano, local de instalação preferencial dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (EDAS).

2.3.4 Cenário 2080 – Método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

O último cenário analisado, cujo resultado da aplicação da metodologia de variação com a remoção dos eventos menores de precipitação por estação do ano nos dados de entrada do modelo de balanço hídrico sequencial diário, permitiram obter o conjunto de valores de recarga distribuídos espacialmente que se apresenta na Figura 2.15.

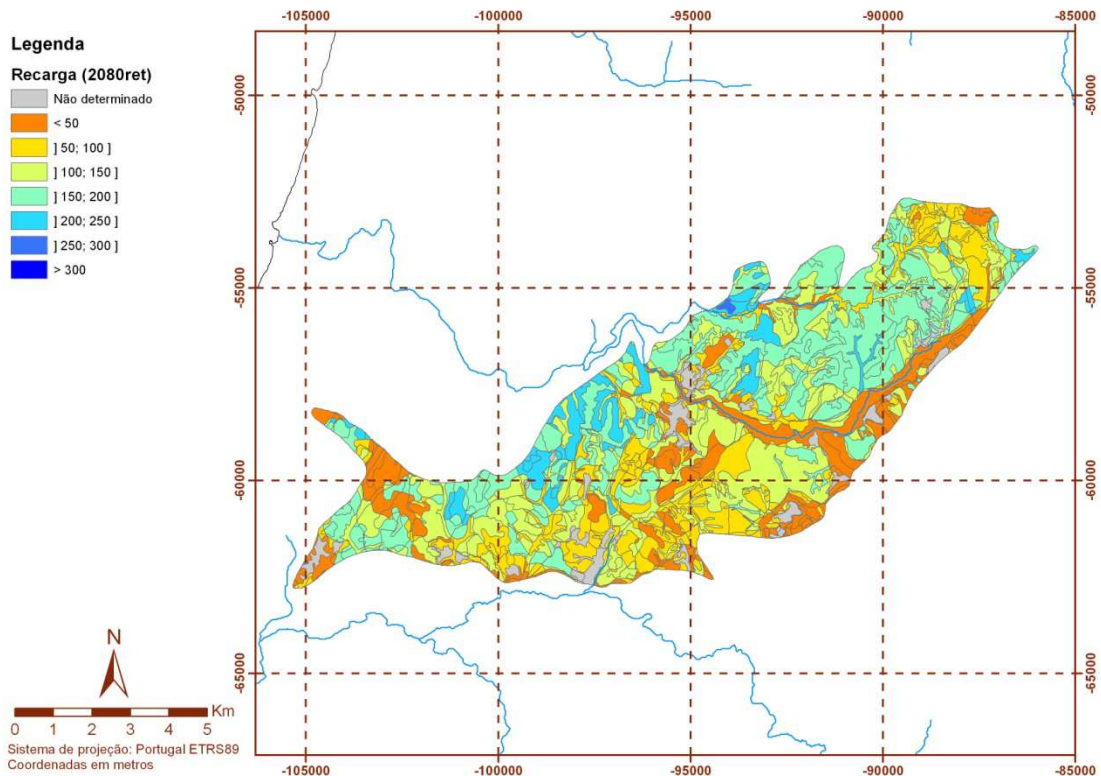


Figura 2.15 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

Embora não seja muito significativo, a aplicação desta metodologia de tratamento das séries de precipitação, reflete-se, como já se havia constatado na secção 2.3.2 num aumento dos valores de recarga em cada sub-área.

Para facilitar a análise da variação dos valores em relação à situação atual, é apresentado na Figura 2.16 o mapa de distribuição da relação entre a recarga de ambos os períodos.

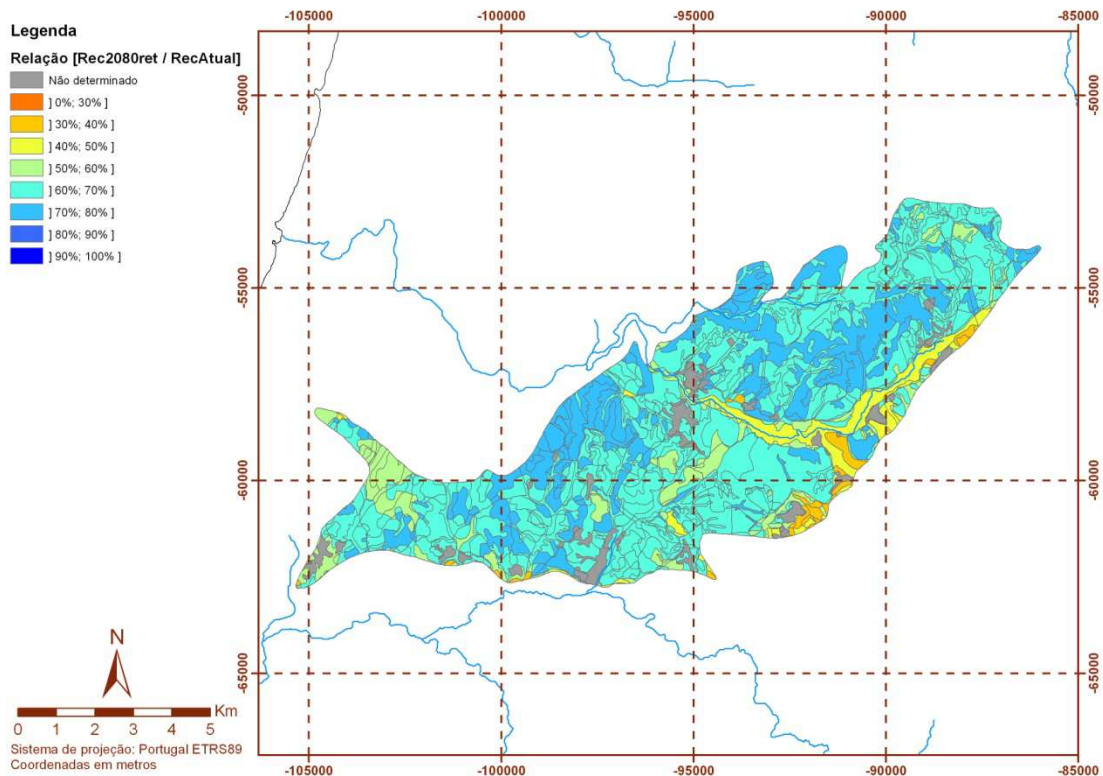


Figura 2.16 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

Como seria de esperar, se se comparar com a Figura 2.12, obtém-se aqui um aumento significativo generalizado da relação entre a recarga para este cenário e a recarga atual, atendendo ao facto de os valores de recarga serem ligeiramente maiores que os obtidos para o mesmo horizonte pelo método de variação constante por estação do ano.

A corrida do modelo matemático, tendo como dado de entrada a distribuição espacial da recarga obtida para este cenário, permitiu obter a superfície piezométrica e calcular a diferença entre os níveis – Figura 2.17.

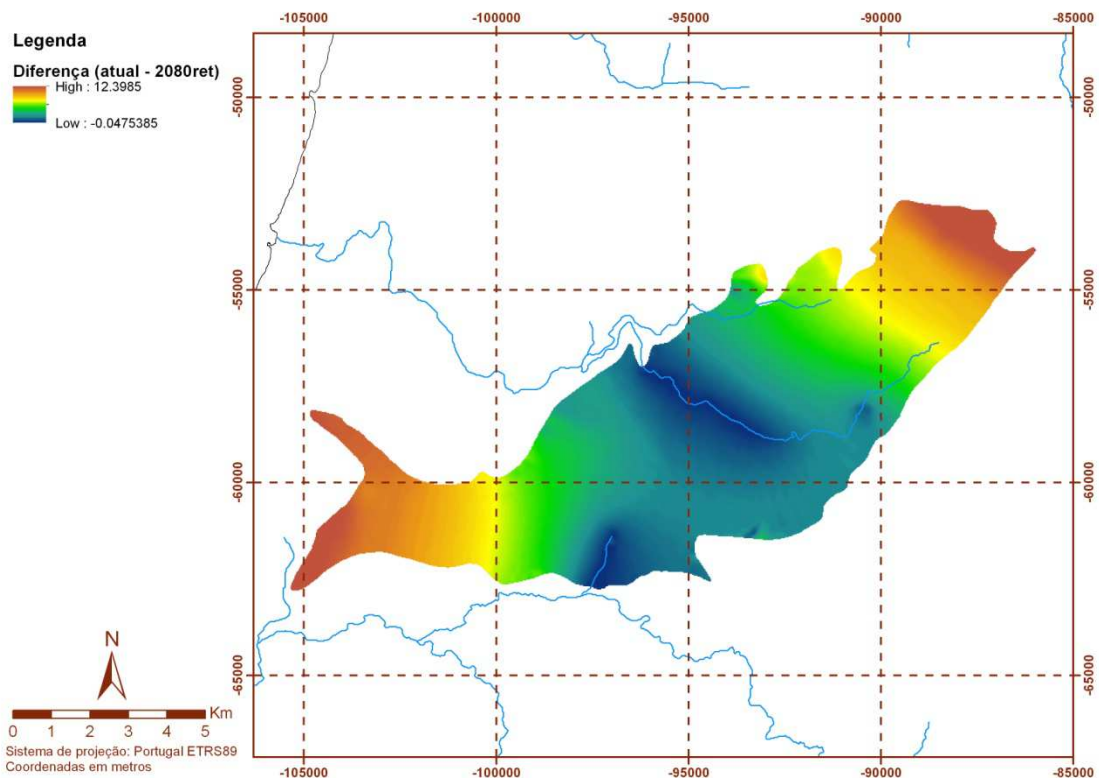


Figura 2.17 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano e o nível obtido para a situação actual

Verifica-se novamente que não existem diferenças significativas na distribuição das áreas de maior ou menor diferença, sendo predominante os níveis mais elevados nas zonas NE e W do sistema.

Apresenta-se na Figura 2.18 para as classes definidas através da análise da variação temporal da piezometria (ver secção 2.3.1) a profundidade do nível da água.

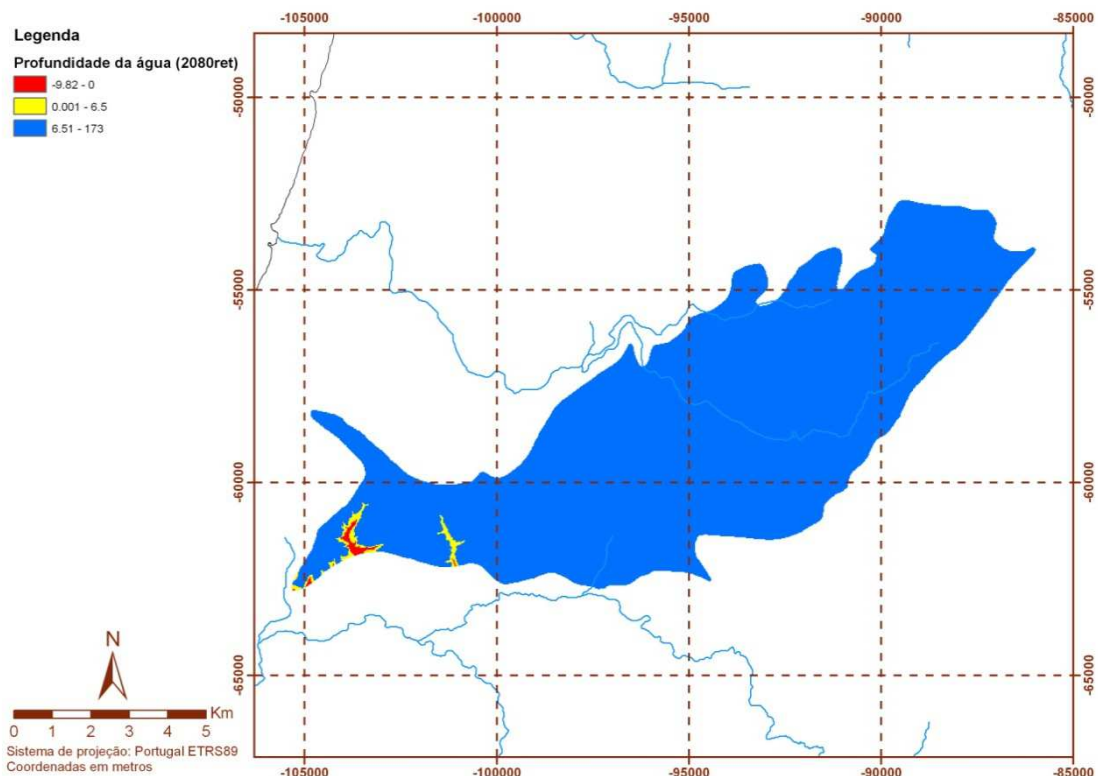


Figura 2.18 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

Embora se registre um aumento dos valores mínimo e máximo, as áreas marcadas como as de possível existência de EDAS possuem uma disposição muito semelhante às do cenário da secção 2.3.3. Como seria de esperar, a Figura 2.18 apresenta uma diminuição significativa destas áreas quando comparada com a Figura 2.6, reforçando-se de novo o impacto negativo da diminuição da recarga em particular para as zonas em que a água subterrânea se encontra muito próxima da superfície.

2.4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS RESULTADOS DOS TRABALHOS DE MODELAÇÃO REALIZADOS PARA CENÁRIOS DE VARIAÇÃO DA RECARGA INDUZIDA PELAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

A modelação da recarga segundo cenários prospectivos de alterações climáticas permite a comparação com os valores obtidos para a situação de referência e perceber qual a amplitude do impacto induzido.

Em geral, a corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário com um conjunto de parâmetros de entrada alterados, sem que se considerasse uma alteração na

ocupação do solo, permitiu obter os valores de recarga em função das associações solo/ocupação do solo, que são em geral inferiores aos obtidos para a situação actual. Assim, pode concluir-se que para cenários futuros os valores de recarga acompanham, como seria de esperar, a tendência de diminuição, consequência da diminuição da precipitação.

O impacto da diminuição desta componente de entrada nos sistemas aquíferos irá reflectir-se essencialmente numa tendência progressiva de rebaixamento dos níveis piezométricos.

No sistema aquífero de Torres Vedras esse rebaixamento será sentido com maior intensidade nas regiões NE e W, salvaguardando-se o facto de não ser possível calibrar com rigor o modelo nestas mesmas áreas (cf. secção 1), com diminuições dos níveis menos acentuadas na restante área, e zonas muito restritas em que se regista uma inversão e consequente subida dos níveis (que podem atingir os 40 centímetros, como é o caso do cenário de 2050 calculado pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano).

Esta diminuição generalizada dos níveis em ambos os períodos de análise (2050 e 2080) terá uma consequência particular ao nível dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (EDAS), registando-se uma diminuição progressiva, segundo a corrida do modelo, das áreas em que o nível da água se encontra acima da superfície, bem como da área sujeita à variação máxima considerada de 6,5 metros.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Junho de 2012

VISTOS



J.P. Cárcomo Lobo Ferreira
Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas
Laboratório Nacional de Engenharia Civil




Rafaela de Saldanha Matos
Directora do Departamento de Hidráulica e
Ambiente
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

AUTORIAS



J.P. Cárcomo Lobo Ferreira
Dr.-Ing. Habil. em Engenharia Civil



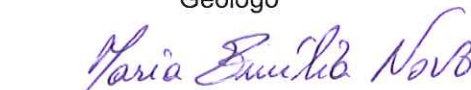
José Paulo Monteiro
Doutor em Hidrogeologia



Manuel Mendes Oliveira
Doutor em Hidrogeologia




Tiago Martins
Geólogo




Maria Emília Novo
Doutora em Engenharia do Ambiente



Luís S. Oliveira
Mestre em Engenharia do Ambiente



Teresa E. Leitão
Doutora em Hidrogeologia



Maria José Henriques
Geóloga

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G, Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*. FAO, Irrigation and Drainage Paper, nr. 56.
- Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J. (2000). *Actualização do Inventário dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Centro de Geologia e Instituto da Água, Dezembro 2000, 661 p.
- Impactos das Alterações Climáticas Relacionados com os Recursos Hídricos (2010). *Região Hidrográfica do Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste (RH4) (versão de trabalho)*. Estratégia Nacional de Adaptação aos Impactos das Alterações Climáticas Relacionados com os Recursos Hídricos. Lisboa, Agosto 2010, pp. 49.
- INAG (2009). *Estabelecimento de limiares nas águas subterrâneas*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água, I. P., Departamento de Monitorização e Sistemas de Informação do Domínio Hídrico, Divisão de Qualidade da Água, 261 pp.
- INSAAR (2010). *Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais Sistemas Públicos Urbanos (dados 2008)*. Maio 2010.
- Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M.M., Leitão, T. E., Novo, M.E., Moinante, M. J., Henriques (2001) - *Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste. 1.ª Fase – Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Contribuição da Componente Águas Subterrâneas para as Secções 3 - Recursos Hídricos e 7 - Qualidade dos Meios Hídricos. Volume I - Síntese*. Fevereiro de 2001, 21 pp.
- Lobo Ferreira, J.P., Vaz Pinto, I., Monteiro, J.P., Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Nunes, L., Novo, M.E., Salvador, N., Pombo, S., Silva, M.F., Igreja, A., Nunes, J.F., Leal, G., Henriques, M.J., Silva, D., Oliveira, L., Martins, T., Martins, R., Monte, M., Martins, J., Braceiro, A., Henriques, R.S., Quaresma, M. (2011). *Plano das bacias hidrográficas das Ribeiras do Oeste - Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos (Versão de Agosto de 2011)*. Consórcio Hidroprojeto/LNEC/ICCE. Rel. 290/2011 – NAS. Estudo realizado para a Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P., 597pp.
- MacDonald, M. G.; Harbaugh, A. W. (1988). *MODFLOW, A Modular Three Dimensional Finite Difference Ground Water Flow Model*. US Geological Survey,

Tech. Water-Resources Inv. Bk 6, Washington D. C.

Oliveira, M. M., Novo, M. E., Oliveira, L.G.S., Ferreira, J.P. (2012). *Estudo do Impacto das Alterações Climáticas na Recarga do Sistema Aquífero de Torres Vedras*. Comunicação apresentada ao 11º Congresso da Água, Valorizar a Água num Contexto de Incerteza, Porto, 6 a 8 de Fevereiro, 15 pp.

Oliveira, M. M., Novo, M. E., Moinante, M. J., Henriques, M. J., Lobo Ferreira, J.P. (2001). *Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste – 1.ª Fase – Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Anexo Temático 4 - Recursos Hídricos Subterrâneos*. Estudo realizado para a Hidrotécnica Portuguesa – Consultores para Estudos e Projetos, Lda. Relatório PBH - Ribeiras do Oeste, Proc. 607/1/13022, LNEC.DH.GIAS, Lisboa, Janeiro/2001, 299 pp.

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., Lobo Ferreira, J.P.C. (2002a). *Proposta de uma Metodologia para a Definição de Áreas de Infiltração Máxima*. Comunicação apresentada no 6º Congresso da Água: A água é d'ouro, organizado pela Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), realizado no Centro de Congressos da Alfândega, Porto, 18 a 22 de Março de 2002, 16 pp.

Oliveira, M.M., Lobo Ferreira, J.P.C. (2002b). *Proposta de uma Metodologia para a Definição de Áreas de Infiltração Máxima*. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Revista Recursos Hídricos, Vol. 23 n.º 1, Maio 2002 pp. 63-74.

Oliveira, M.M., Novo, M.E., Moinante, M.J., Lobo Ferreira, J.P.C. (2000). *Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo. 1.ª Fase - Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Anexo Temático 4 - Recursos Hídricos Subterrâneos. Tomo A - Caracterização Hidrogeológica. Revisão 2*. Estudo realizado para a Hidrotécnica Portuguesa. Consultores para Estudos e Projetos Lda., Proc. 607/1/13022, LNEC-GIAS, Maio de 2000, 379 pp.

Vieira da Silva, A. (2010) – *Hidrogeologia Geral do Sistema Aquífero de Torres Vedras*. Tágides. Volume 7. Administração de Região Hidrográfica do Tejo. ARH do Tejo, I.P. pp. 175-180. In http://www.arhtejo.pt/c/document_library/get_file?uuid=26cd06af-77f5-41ae-9336-bee2c70d7107&groupId=10225.

Zbyszewski, G., Assunção, T. (1965). *Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Notícia Explicativa da Folha 30-D: Alenquer*. Serviços Geológicos de Portugal, pp. 104.

Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, F., Assunção, C.T. (1955) – *Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Notícia Explicativa da Folha 30-C: Torres Vedras*. Serviços Geológicos de Portugal, pp. 33.

Zbyszewski, G., Veiga Ferreira, O., Assunção, T. (1966). *Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Notícia Explicativa da Folha 30-B: Bombarral*. Serviços Geológicos de Portugal, pp. 90.

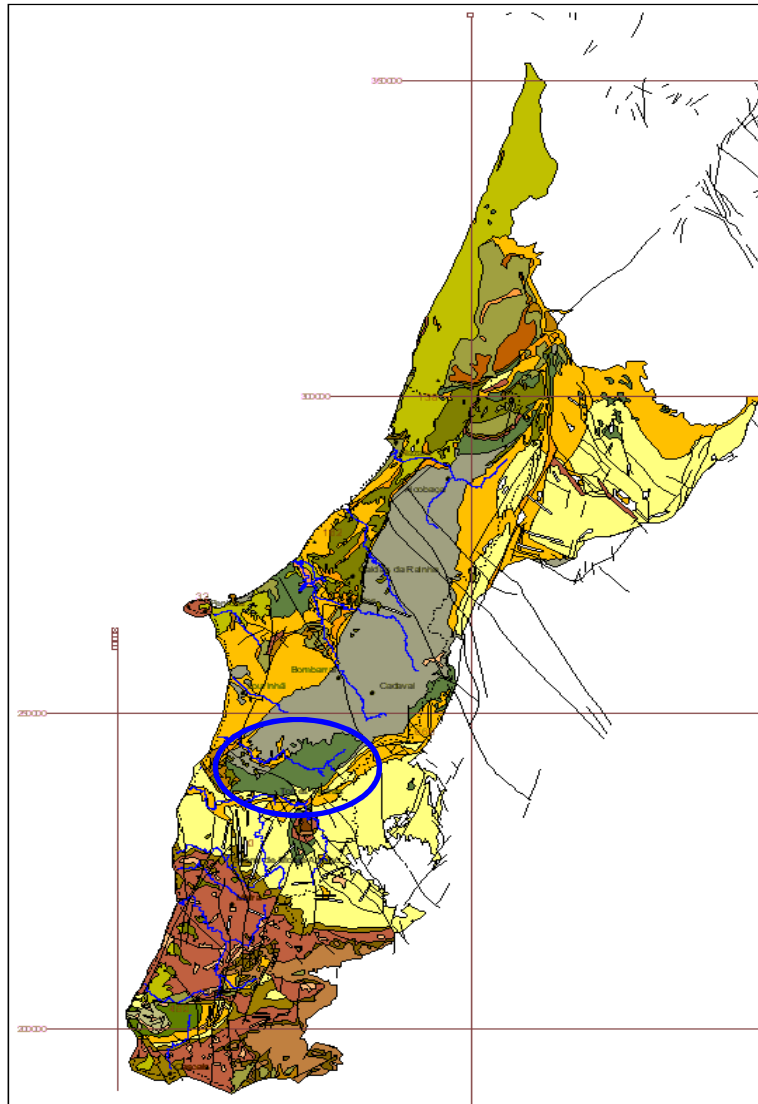
ANEXOS

ANEXO 1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

1. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E TECTÓNICA

A massa de águas subterrânea Caldas da Rainha - Nazaré está incluída na Orla Meso-Cenozóica Ocidental, sendo dominada por formações detríticas de idade cretácica, a que se associam formações aquíferas do topo do Jurássico. Na Figura 1-1 apresenta-se a localização e enquadramento geológico da massa de águas subterrâneas.

O conjunto de formações do sistema aquífero inclui as formações de cobertura (aluviões, dunas, areias eólicas, depósitos de praias e terraços e cascalheiras, e o complexo arenoso pliocénico constituído por: grés de Barreira Alvo e Seixal, areias, arenitos e argilas plio-pleistocénicos de Silveira) e as formações aquíferas. As formações aquíferas são os Grés com vegetais fósseis de Torres Vedras e Cercal, associados a formações do topo do Jurássico superior (Almeida et al., 2000). Esta formação do Cretácico inferior é constituída por arenitos feldespáticos, caulíniferos e ferruginosos de granulometria variável (grosseiros a muito finos), geralmente mal calibrados e por vezes compactos, com abundantes intercalações lenticulares de argilas, siltes e alguns níveis conglomeráticos; no topo podem ainda surgir arenitos porcelanóides (Almeida et al., 2000). Alguns níveis do Jurássico superior foram também incluídos neste sistema aquífero, dado serem também constituídos por arenitos com lenticulas argilosas, similares às formações dos Grés de Torres Vedras e serem captados igualmente por vários dos furos que captam estes Grés (Almeida et al., 2000). Na envolvência deste sistema, nas áreas drenadas pelas ribeiras que o atravessam, ocorrem – de acordo com Almeida et al. (2000), Zbyszewski et al. (1955), França et al. (1961), Zbyszewski e Assunção, (1965), Zbyszewski et al. (1966) – as formações jurássicas das Camadas da Abadia (margas, argilas arenosas, grés e arenitos), Calcários corálicos do Amaral, Complexo pteroceriano (margas, grés e argilas), Camadas do Freixial (grés, argilas por vezes arenosas, margas e alguns calcários margosos).



Fonte: MAOT (2001)

Figura 1-1 – Carta geológica da área do PBH Oeste

O Quadro 1-1 sintetiza a geologia da massa de águas subterrâneas. No Anexo 1 pormenoriza-se a geologia desta massa de águas subterrâneas.

Quadro 1-1 – Estratigrafia e litologia da massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Estratigrafia	Litologia
O25 - Torres Vedras	Jurássico superior a Cretácico inferior	Arenitos feldspáticos caulíferos a ferruginosos de granulometria variável, mal calibrados, por vezes compactos, com abundantes intercalações de argilas e siltes.

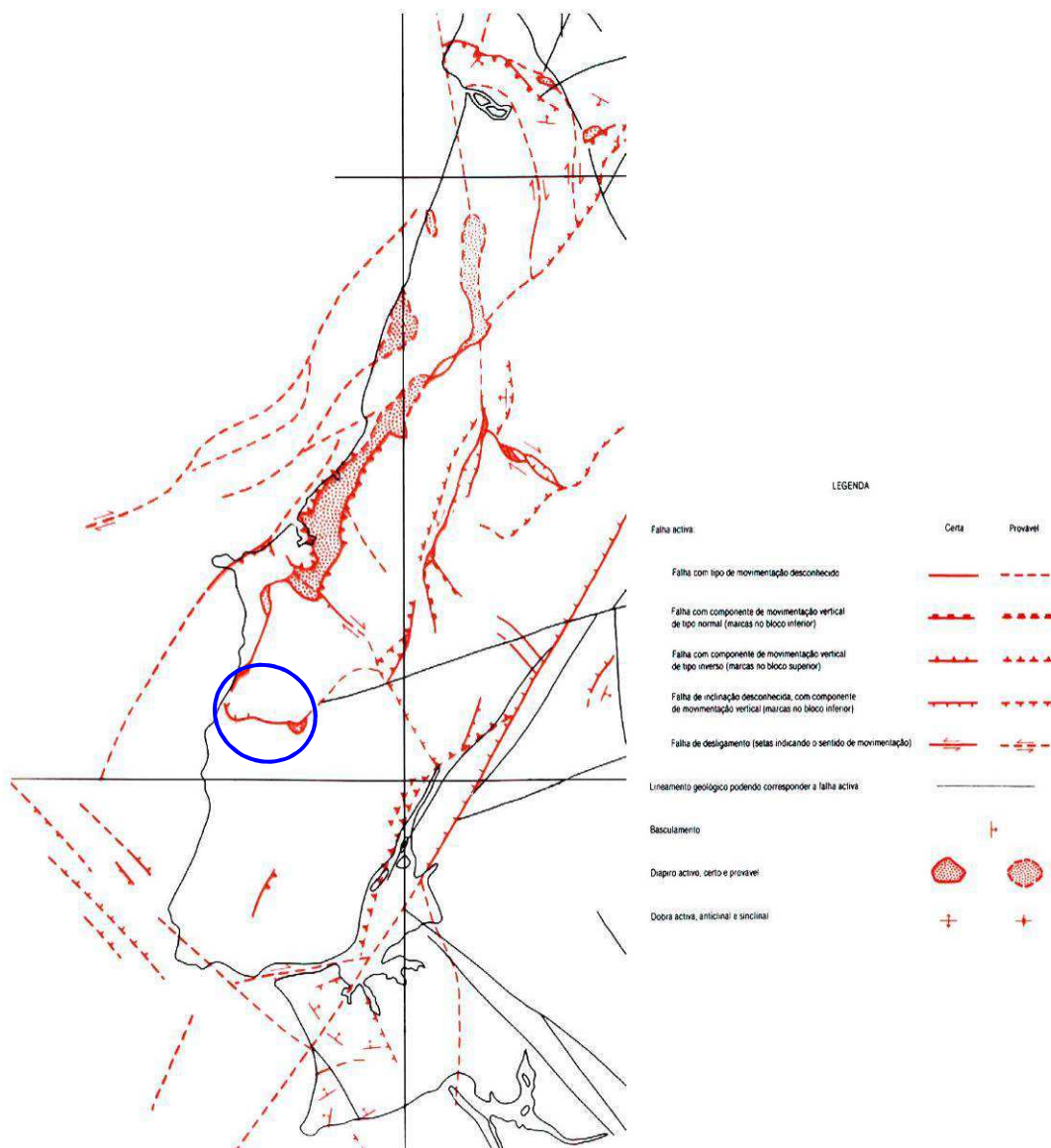
Fonte: Almeida et al, 2000, MAOT, 2001, Oliveira et al., 2001 e Lobo Ferreira et al., 2001

A estrutura e fracturação das formações é dominada pelos campos de tensões relacionados com a abertura do Atlântico Norte e da orogénese alpina, que deram origem não apenas à rede de fraturas mas também ao sinclinal de Monte Redondo. O

bordo S deste sistema aquífero é delimitado por um sistema de falhas E-W a NW-SE (Zbyszewski et al., 1955; Vieira da Silva, 2010). As direções de fracturação mais significativas são (Zbyszewski et al., 1955; França et al., 1961; Zbyszewski e Assunção, 1965; Zbyszewski et al., 1966):

- E-W.
- NW-SE.
- NE-SW.
- N-S.

Em termos de neotetónica, a Figura 1-2 apresenta, de acordo com a Carta Neotetónica de Portugal, na escala 1/1 000 000 (Cabral, 1995), as estruturas neotetónicas que enquadram a massa de águas subterrâneas de Torres Vedras.



Fonte: MAOT (2001)

Figura 1-2 – Estruturas neotetónicas

2. HIDROGEOLOGIA

2.1 MASSAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A Figura 2-1 indica a localização da massa de águas subterrânea. O

Quadro 2-1 lista a área e as litologias dominantes da massa de água. O Quadro 2-2 sintetiza a informação relativa às formações aquíferas dominantes, tipo de aquífero e porosidade. Este é um aquífero poroso, confinado e multicamada.

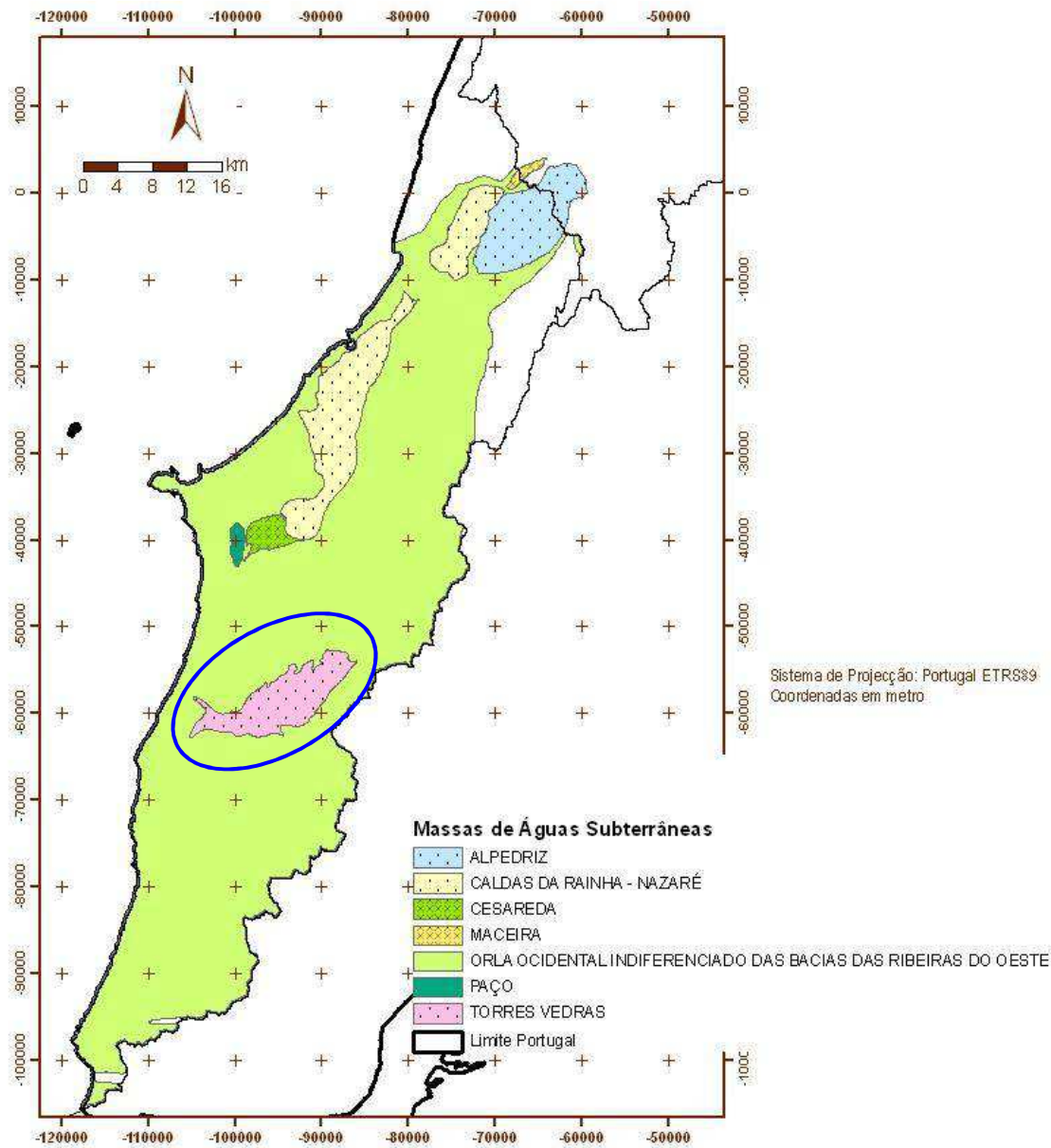


Figura 2-1 – Localização da massa de águas subterrâneas de Torres Vedras na área do PBH Oeste

Quadro 2-1 – Identificação da massa de águas subterrâneas e litologias dominantes

Massa de águas subterrâneas	Litologias dominantes	Área (km ²)
O25 – Torres Vedras	Arenitos feldspáticos e caulíferos, com abundantes lenticulas argilosas	79,83

Fonte: SNIRH, Almeida et al. (2000)

Quadro 2-2 – Formações aquíferas dominantes e classificação da massa de águas subterrâneas quanto ao tipo de aquífero e ao meio de escoamento

Massa de águas subterrâneas	Formações aquíferas dominantes	Tipo de aquífero	Tipo de porosidade
O25 – Torres Vedras	Formação de Torres Vedras (Cretácico inferior)	Confinado, Multicamada	Intergranular

Fonte: SNIRH, Almeida et al. (2000)

A síntese da caracterização da transmissividade da massa de águas subterrâneas apresenta-se no Quadro 2-3. Os valores apresentados foram na sua maior parte estimados a partir dos caudais específicos. A síntese da produtividade apresenta-se no Quadro 2-4, tendo-se usado o caudal de exploração das captações.

Quadro 2-3 – Caracterização da transmissividade da massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Transmissividade (m ² /d)				N.º de determinações
	Média	Mediana	Mínima	Máxima	
O25 – Torres Vedras	–	–	2,5 ^(q)	400 ^(q)	67

Fonte: Almeida et al., 2000; Oliveira et al., 2001 e Lobo Ferreira et al., 2001

^(q) estimada com base no caudal específico

Quadro 2-4 – Caracterização da produtividade da massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Produtividade (l/s)			N.º de determinações	Classe de produtividade
	Mediana	Mínima	Máxima		
O25 – Torres Vedras	6,0	2,0	20,0	25	Alta

Fonte: Almeida et al., 2000; Oliveira et al., 2001 e Lobo Ferreira et al., 2001

() – valores entre parêntesis não são estatisticamente relevantes dado o reduzido número de observações realizado.

De acordo com a classificação de Almeida et al. (2000) as classes de produtividade são definidas pelos intervalos de valores:

- Produtividade alta: mediana ≥ 6 l/s;
- Produtividade média: mediana ≥ 1 l/s e < 6 l/s;
- Produtividade baixa: mediana < 1 l/s.

As principais características hidroquímicas da massa de águas subterrâneas são apresentadas em síntese no Quadro 2-5. As classificações apresentadas resultam projeção das concentrações dos iões HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, dos vários pontos pertencentes a uma mesma massa de águas subterrâneas, num Diagrama de Piper, para as análises disponíveis desde 2000.

Quadro 2-5 – Síntese da caracterização hidroquímica da massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Fácies predominante
O25 – Torres Vedras	Bicarbonatada a cloretada cálcica e sódica

A qualidade química das águas subterrâneas foi analisada com base em informação disponível nos primeiros planos de bacia, completada com o conjunto de informação mais atualizada existente na ARH Tejo para este milénio. Os anos de referência para a avaliação do estado foram: 2004-2008. A caracterização de pormenor do estado químico é apresentada na secção 6.2.

2.2 ÁREA DE DRENAGEM DAS MASSAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Como área de drenagem considera-se a área de afloramento da massa de águas subterrâneas acrescida da área adjacente à massa de águas subterrâneas onde o escoamento direto se faz para dentro dos limites da massa de águas subterrâneas, através ou não de uma rede de drenagem superficial, e onde, devido às características de infiltração dos solos subjacentes à massa de águas subterrâneas, esse escoamento direto se poderá infiltrar recarregando os aquíferos. Para a massa de águas subterrâneas a área de drenagem coincide com a área de afloramento da massa de águas.

2.3 MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO

A massa de águas subterrâneas tem como principal entrada de água a infiltração da água da chuva, que se processa dependendo das condições de ocupação do solo e da própria natureza do solo, em toda a extensão de afloramento. Outras origens de entrada de água, também localizadas, são a recarga proveniente dos excedentes de rega, e as perdas de águas nas redes de distribuição e de saneamento. Só em situações pontuais é que se prevê que possa haver entrada de água a partir da infiltração de cursos de águas superficiais. Na Figura 2-2 apresenta-se um mapa com o Índice de Facilidade de Infiltração elaborado com base nos critérios apresentados em Oliveira e Lobo Ferreira (2002).

O escoamento faz-se em regime de escoamento confinado a semi-confinado. As saídas da massa de águas subterrâneas processam-se globalmente em direção aos cursos de água que as drenam. Em maior pormenor, o modelo conceptual para a massa de água é o seguinte:

- Devido à presença de numerosas lenticulas argilosas o sistema aquífero é confinado e multicamada (Almeida et al., 2000). Este confinamento manifestava-se em artesianismo repuxante à data da construção de algumas captações.

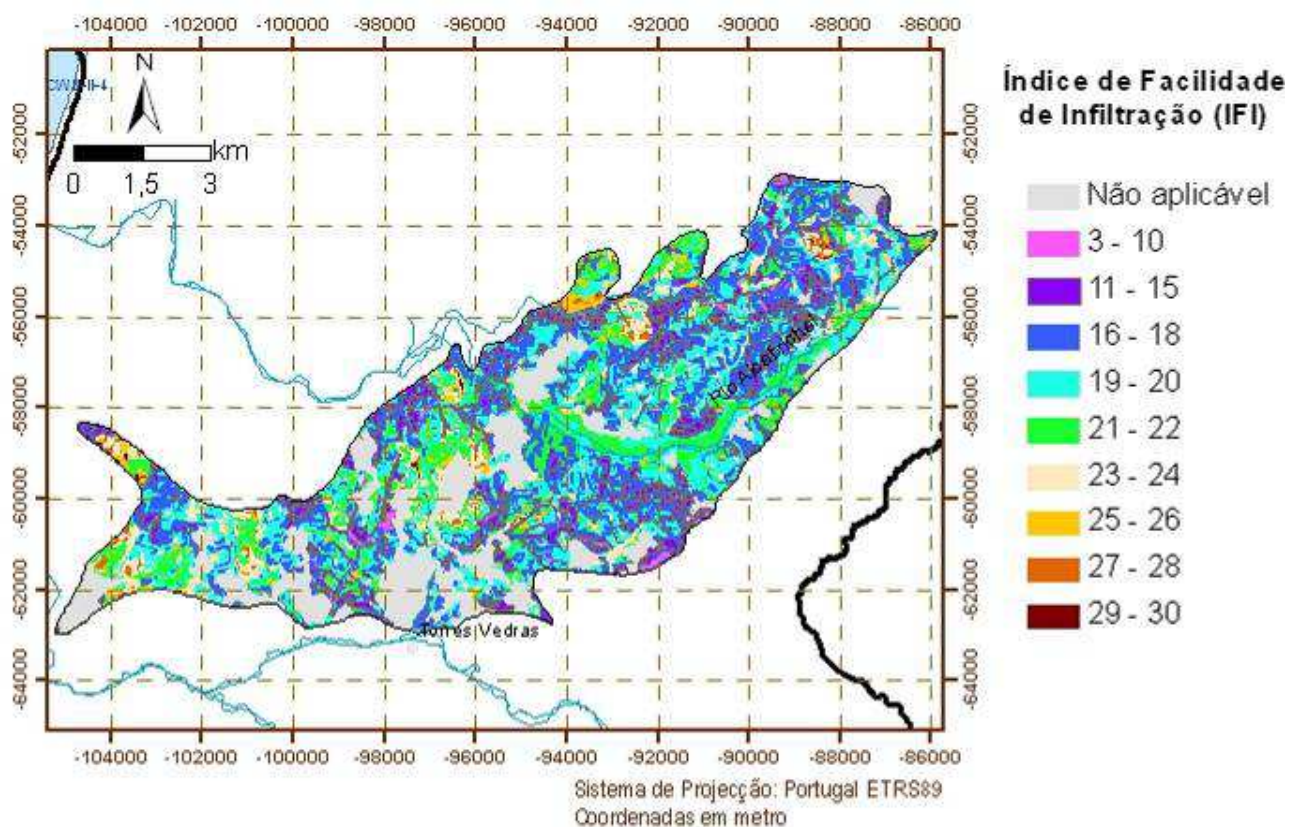
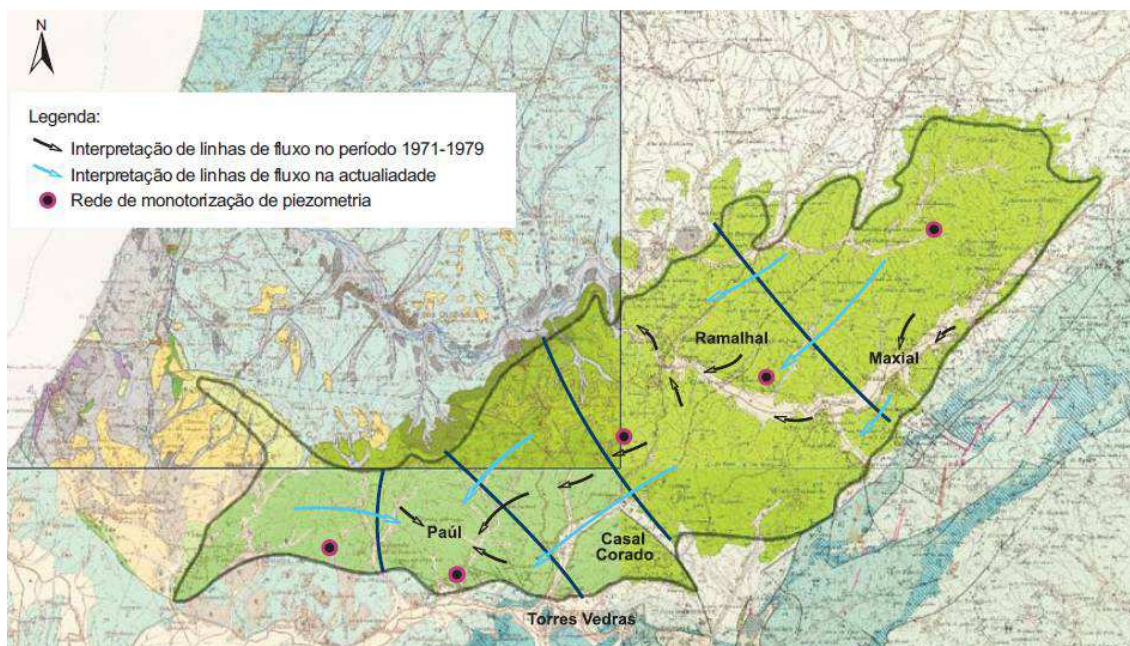


Figura 2-2 – Índice de Facilidade de Infiltração da massa de águas subterrâneas de Torres Vedras

- Há uma acentuada irregularidade na distribuição da piezometria – em 59 dados, as piezometrias variam entre -35 e 80 m (Almeida, comunicação pessoal, Oliveira et al., 2000) – registando-se variações bruscas em níveis medidos em captações próximas, que Almeida et al. (2000) atribuem às diferenças entre as várias camadas intersectadas pelas diferentes captações. Estes autores consideram que tão grande variabilidade reflete as distintas condições piezométricas de cada nível do sistema multicamada, a que se associam os efeitos da exploração e, por vezes, sobreexploração. Segundo estes mesmos autores, há uma correlação significativa entre as

piezometrias à data da construção das captações e as suas cotas topográficas, tendo sido registado alguns casos de artesianismo repuxante.

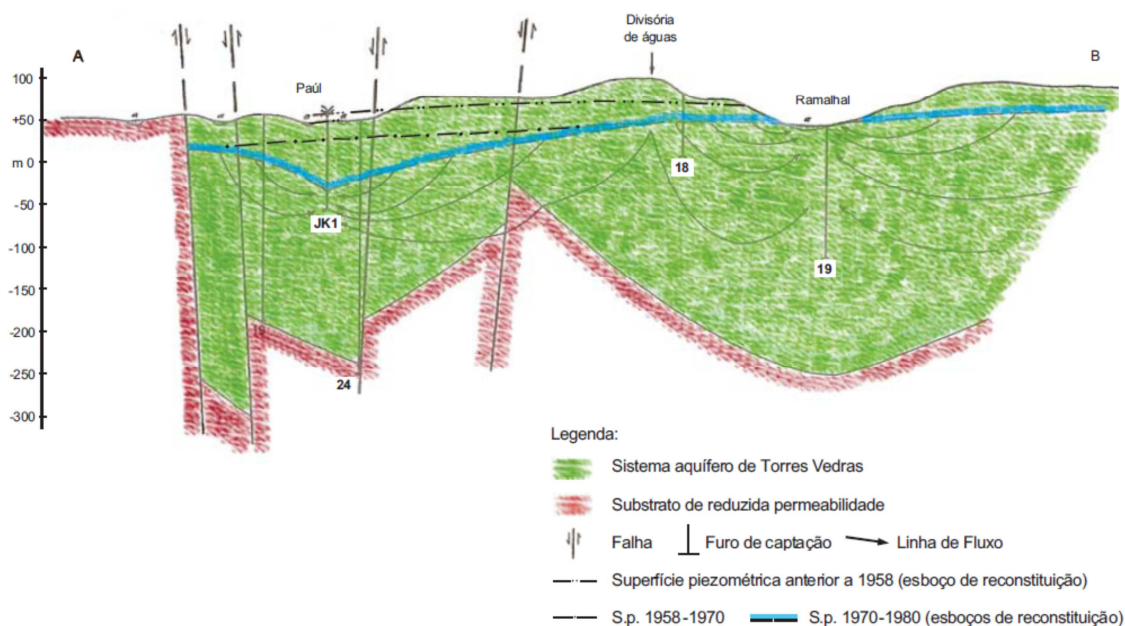
- Almeida et al. (2000) e Vieira da Silva (2010) referiram a existência, na década de 1970, de depressões piezométricas associadas aos polos de captação de Paul e Casal Corado, que ultrapassavam a cota dos -30 m e registavam os valores mais baixos de piezometria. Admite-se que, devido à alteração do regime de captação, com as antigas captações mantidas em regime de reserva estratégica, estas depressões piezométricas tenham registado alterações (Vieira da Silva 2010).
- De acordo com Vieira da Silva (2010), na década de 1970, época de intensa exploração do aquífero, o fluxo era fortemente condicionado pelos polos de extração de Paul, Ramalhal e Maxial (Figura 2-3) pelo que localmente as direções de fluxo subterrâneo convergem nestes polos.



Fonte: Vieira da Silva (2010)

Figura 2-3 – Direções de fluxo no sistema aquífero na década de 1970 e na atualidade

- Na atualidade admite-se que a zona de descarga principal seja a zona do Paúl, donde resulta que o fluxo seja de NE para SW em direção a Paúl, no setor E e predominantemente de W-E no setor ocidental (Figura 2-3). Na Figura 2-4 apresenta-se uma reconstituição da superfície piezométrica, antes de 1958 e entre esta data e 1970, conforme a Vieira da Silva (2010).



Fonte: Vieira da Silva (2010)

Figura 2-4 – Superfície piezométrica e linhas de fluxo no setor de Ramalhal-Paúl

3. AVALIAÇÃO DAS DISPONIBILIDADES

3.1 INTRODUÇÃO

A metodologia de análise das séries de níveis piezométricos e de avaliação da recarga foi apresentada no relatório LNEC 290/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011) tendo a recarga sido calculada usando o BALSEQ_MOD (Oliveira, 2004, 2006). A classificação do estado quantitativo das massas de águas subterrâneas exigiu ainda a aplicação dos testes relativos aos ecossistemas dependentes ou associados às águas subterrâneas.

3.2 EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS

A Figura 3-1 indica, a partir da análise de regressão linear dos valores de piezometria observados, a tendência de evolução dos valores máximos anuais em cada piezómetro, tendo-se considerado com valor crítico a tendência de descida de 100 mm/ano (= 0,274 mm/dia).

A Figura 3-2 apresenta as tendências de evolução para a totalidade dos registos de cada piezómetro e a Figura 3-3 para os valores máximos anuais. Desta análise conclui-se que a parte sul da massa de águas subterrâneas não apresenta tendência de descida ao passo que os dois piezómetros da parte norte a apresentam. Estes dois piezómetros têm os níveis piezométricos mais elevados.

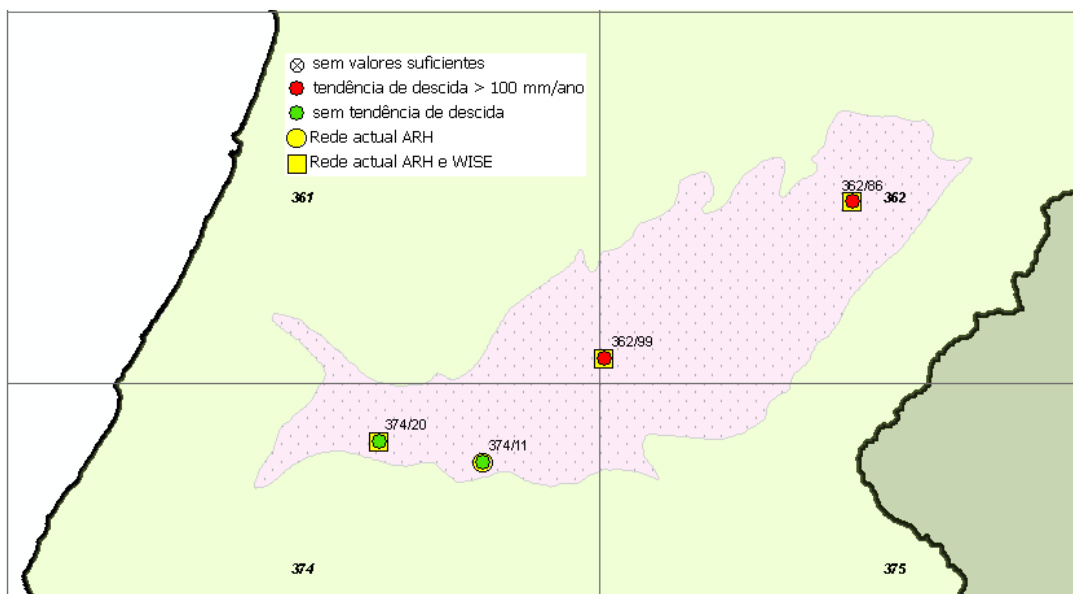


Figura 3-1 – Distribuição dos pontos da rede de monitorização na massa de águas subterrâneas de Torres Vedras

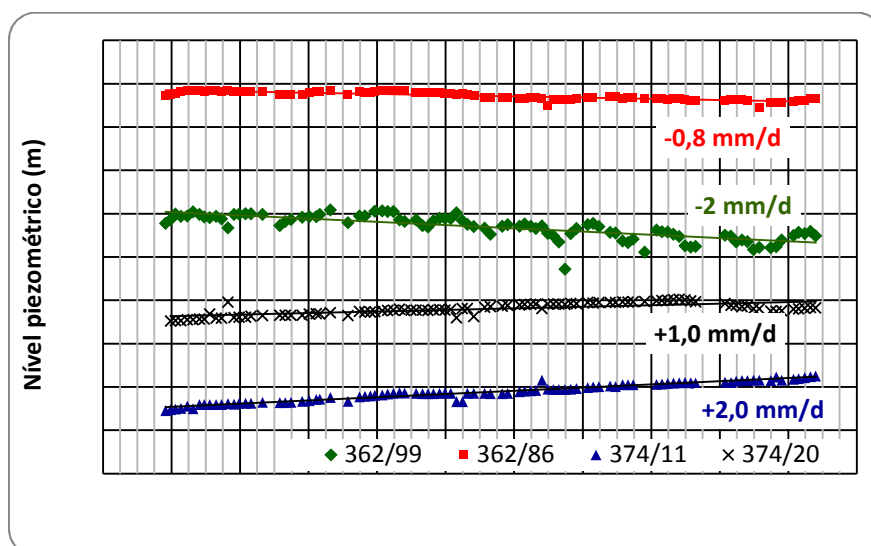


Figura 3-2 – Níveis piezométricos por piezómetro e tendências obtidas

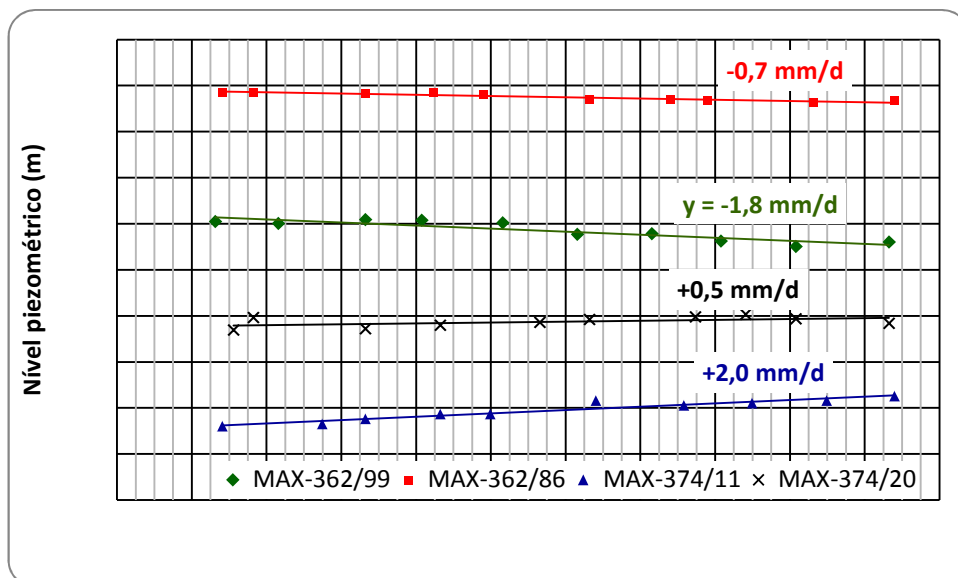


Figura 3-3 – Níveis piezométricos anuais máximos por ano hidrológico e respetivas tendências de evolução

3.3 AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA RECARGA

A recarga foi avaliada para o período de 1-10-1979 a 30-09-2009. A Figura 3-4 apresenta a distribuição espacial da recarga e o Quadro 3-1 os valores anuais médios para a totalidade da massa de águas subterrâneas. Estimou-se que a recarga anual média represente 25% da precipitação. Os valores médios obtidos pelo balanço hídrico subterrâneo para cada associação de solo / ocupação do solo / setor / existência de carso estão representados no Quadro A.2 do Anexo 2.

Quadro 3-1 – Resultados anuais médios do balanço hídrico sequencial diário (Torres Vedras)

Área aflorante (km ²)	Precipitação (mm/ano)	Evapotranspiração real (mm/ano)	Escoamento direto (mm/ano)	Recarga (mm/ano)	Recarga (hm ³ /ano)	Recarga (% Prec)
79,8	713	310	228	176	14,04	25%

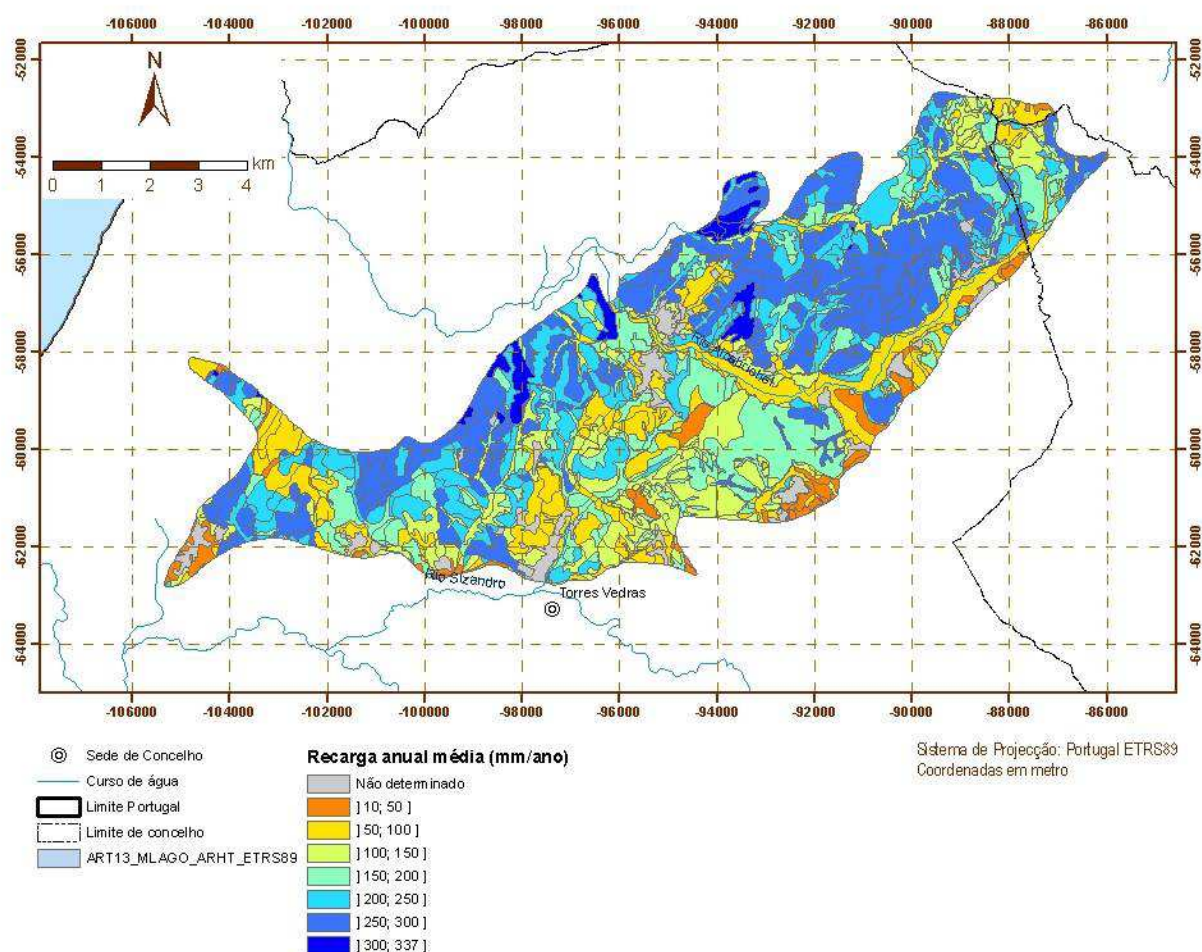


Figura 3-4 – Recarga da massa de águas subterrâneas de Torres Vedras

3.4 MASSAS DE ÁGUA ASSOCIADAS A ECOSISTEMAS AQUÁTICOS DE SUPERFÍCIE OU ECOSISTEMAS TERRESTRES QUE DELAS DEPENDEM DIRETAMENTE

Os cursos de água, assim como os ecossistemas ripícolas associados a estes cursos de água, que constituem EDAS, são os seguintes (Figura 3-5):

- No setor Norte: o rio Alcabrichel e a Vala do Pisão, sendo esta afluente da margem esquerda do referido rio; a análise da piezometria e das cotas dos cursos de água leva a considerar que a massa de águas subterrâneas contribui para o caudal de base destes cursos de água, sendo estes e áreas ripícolas associadas ecossistemas parcialmente dependentes de águas subterrâneas.
- No setor Sul: cabeceira da Vala dos Amiais, tributária mais a Sul do rio Sisandro. A mesma análise é menos conclusiva que nos casos anteriores

mas a informação proveniente do modelo matemático aponta no sentido da área de descarga mais importante do sistema estar associada ao rio Sizandro na área sul do sistema. Deste modo, de acordo com os dados mais atuais deverá ser esta a linha de água mais importante de descarga deste sistema aquífero, que se constitui portanto em EDA.

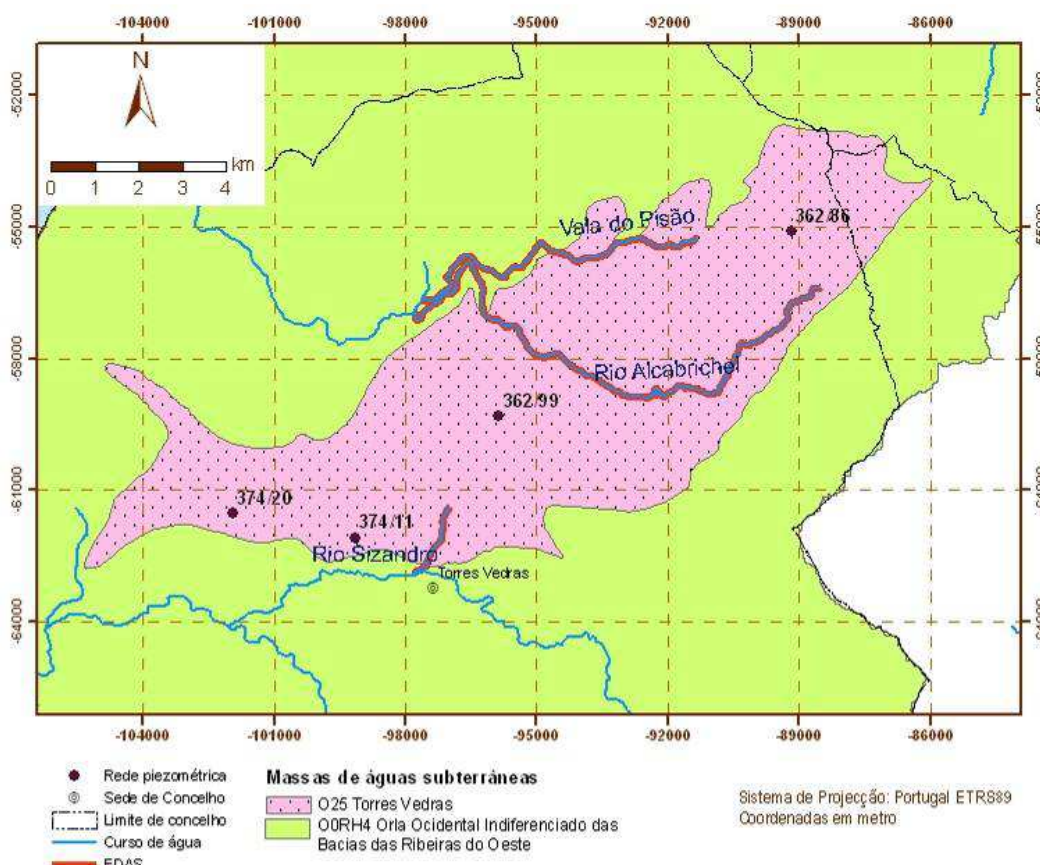


Figura 3-5 – Ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (EDAS) no sistema aquífero O25 - Torres Vedras

No setor Norte desta massa de águas subterrâneas os elementos atualmente existentes apontam claramente para uma significativa importância das relações rio-aquífero, sobretudo no que respeita à transferência de caudais de base para os cursos de água. Não existem identificados charcos temporários como EDAS na área da massa de águas subterrâneas.

3.5 IDENTIFICAÇÃO DAS ZONAS POTENCIAIS DE RECARGA DE AQUÍFEROS

A metodologia de identificação destas zonas foi apresentada no relatório LNEC 290/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). A Figura 3-6 apresenta o mapa com o Índice de Facilidade de Infiltração. A análise desta figura deve ter em linha de conta a massa de

água subterrânea subjacente e a sua zona de descarga, ou seja, deve ter em atenção o modelo conceptual de escoamento das massas de água.

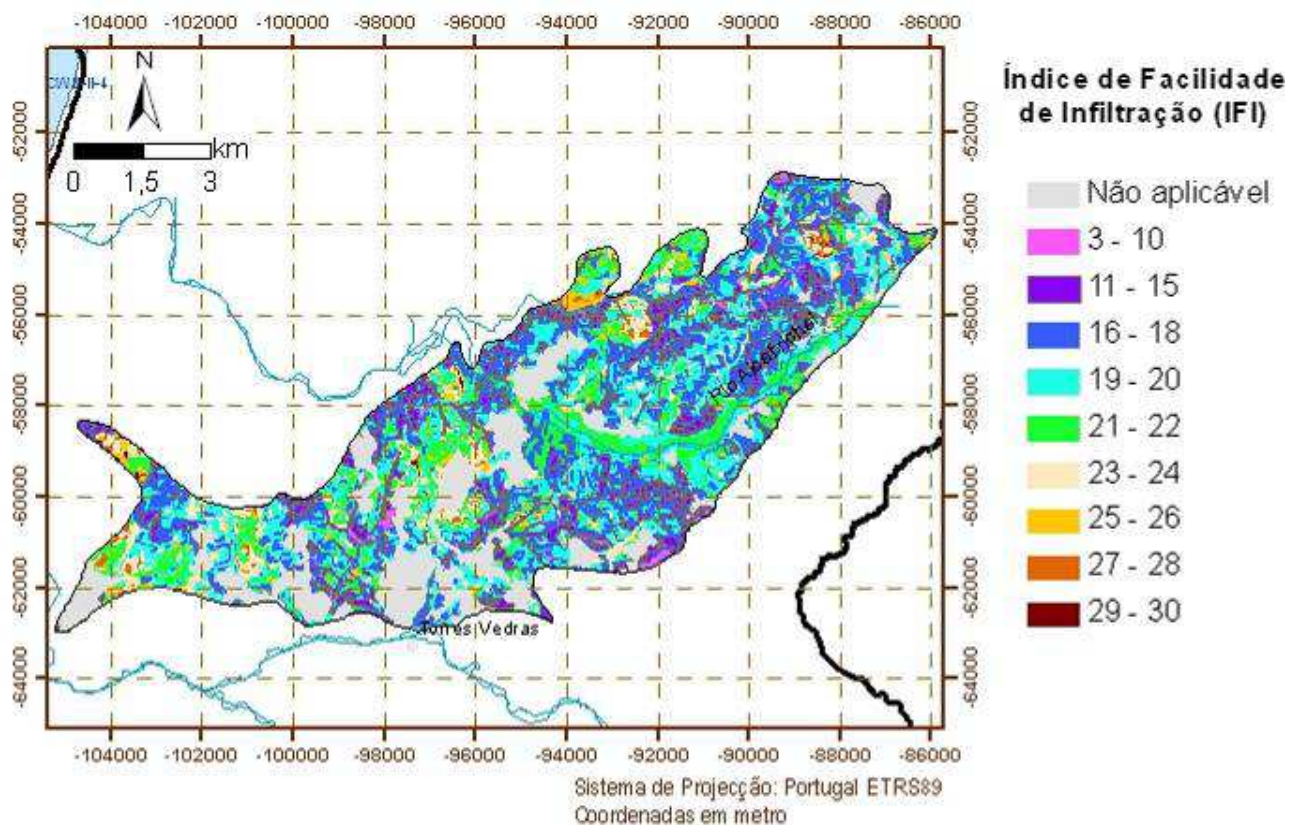


Figura 3-6 – Índice de Facilidade de Infiltração na área da massa de águas subterrâneas de Torres Vedras

3.6 MASSAS DE ÁGUA EM RISCO

Considera-se em risco a massa de águas subterrâneas O25 Torres Vedras por (1) se encontrar em estado medíocre e (2) com tendência estatisticamente significativa de subida de algum parâmetro cujo valor ultrapassou os 75% do valor limite regulamentar.

4. USOS, NECESSIDADES E PRESSÕES SOBRE A MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4.1 USOS E NECESSIDADES DE ÁGUA

4.1.1 Necessidades de água por tipologia de uso (usos consumptivos e não consumptivos)

A metodologia para a avaliação dos usos e necessidades de água apresentou-se no relatório LNEC 290/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). As tipologias de uso consideradas compreendem:

- Abastecimento público;
- Agricultura;
- Pecuária;
- Indústria.

4.1.1.1 A. Abastecimento público – Sistemas de abastecimento

No Quadro 4-1 apresentam-se os valores de capitação “útil” por concelho (inserido total ou parcialmente na área da massa de águas subterrânea), os valores das capitações totais e “úteis” respeitantes a 1998 e os parâmetros estatísticos: máximo, mínimo e média. Relativamente às médias dos valores obtidos no âmbito do PBH das ribeiras do Oeste de 2001, verifica-se que a capitação “útil” sofreu uma redução da ordem de 32,5%, enquanto a capitação total aumentou cerca de 17,7%. O Quadro 4-2 e a Figura 4-1 apresentam os volumes de água abastecidos por fontes subterrâneas.

Quadro 4-1 – Evolução das capitações por concelho

Concelho	Capitações estimadas no anterior plano		Capitações atuais ²	
	Cap. Útil (l/hab.dia)	Cap. Total (l/hab.dia)	Cap. Útil l/hab.dia)	Cap. Total (l/hab.dia)
Alenquer	294(b)	387(b)	121	285
Cadaval	136	170	101	271
Torres Vedras	130	159	156	287
Máximo	294	387	156	287
Mínimo	130	159	101	271
Média	187	239	126	281

² Calculadas com base nos dados INSAAR 2010. (a) sem dados de perdas que permitam determinar a capitação total.

(b) Valor anormalmente reduzido (< 100 l/hab.dia) ou anormalmente elevado (> 280 l/hab.dia, no caso de valores de capitação útil, ou 300 l/hab.dia, no caso de valores de capitação de distribuição ou total) não considerado no cálculo dos parâmetros estatísticos.

Quadro 4-2 – Abastecimento público. Volumes de água provenientes de origens subterrâneas (m³/ano)

Massa de águas subterrâneas	Volume captado (hm ³)
O25 – Torres Vedras	0,027

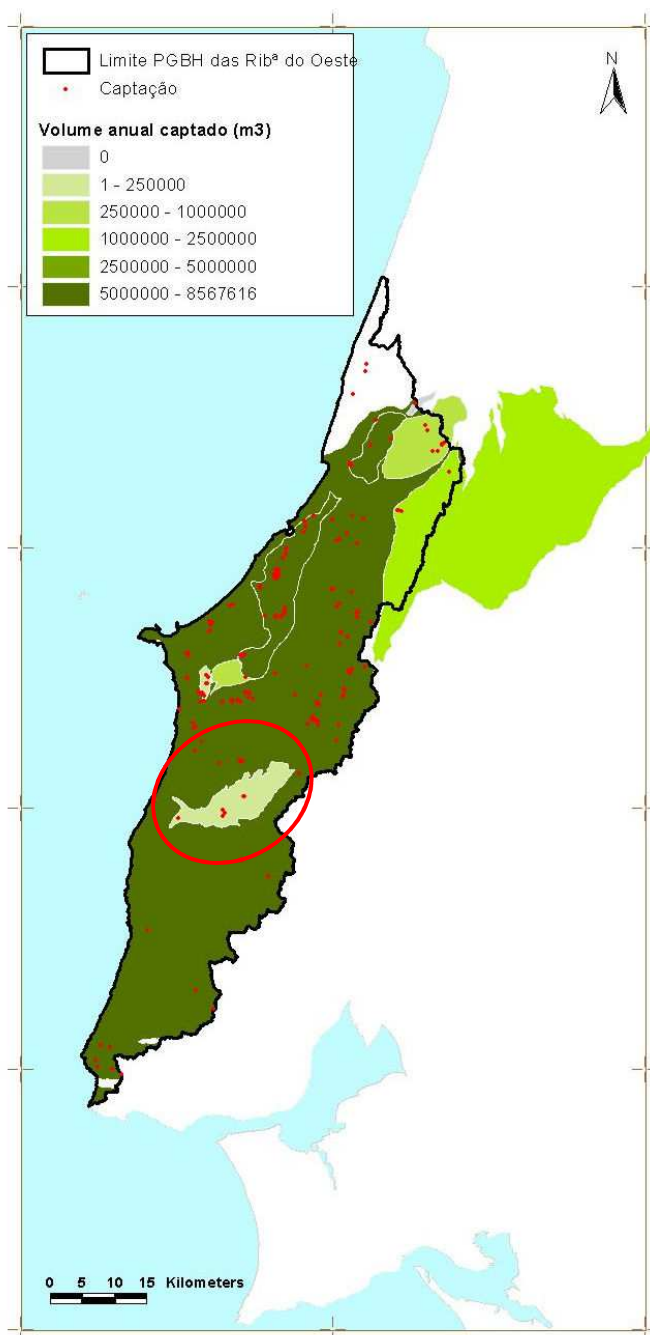


Figura 4-1 – Abastecimento Público. Volumes de água provenientes de captações subterrâneas (hm³/ano) por massa de águas subterrâneas (fonte: INSAAR, 2010)

4.1.1.2 B. Agricultura

As necessidades de água para a agricultura foram consideradas como sendo as dos volumes de água utilizados na rega. A metodologia de cálculo destas necessidades foi apresentada no relatório LNEC 290/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). No Quadro 4-3 apresentam-se as necessidades de rega para ano médio e seco satisfeitos pelas águas subterrâneas. A Figura 4-2 representa as necessidades hídricas totais em ano médio por massa de águas subterrâneas.

Quadro 4-3 – Necessidades totais anuais de água para rega (hm³) satisfeitos por origens subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Ano médio (50%) (hm ³ /ano)	Ano seco (80%) (hm ³ /ano)
O25 – Torres Vedras	0,975	1,141

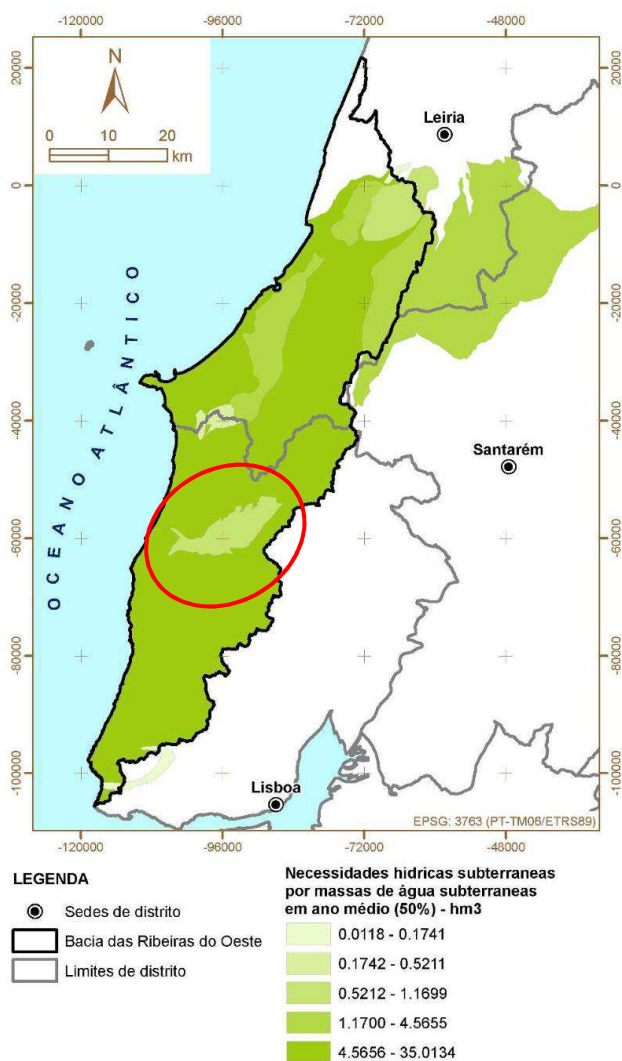


Figura 4-2 – Consumos totais anuais de água para rega (hm³) por massa de águas subterrâneas

4.1.1.3 C. Pecuária

As necessidades de água para a pecuária foram calculadas com base nos efetivos animais e consumos unitários de cada espécie associados aos diferentes sistemas de produção. No Quadro 4-4 apresentam-se os valores das necessidades de água para a pecuária por concelho.

Quadro 4-4 – Necessidades de água para a pecuária por concelho, espécie e sistema de produção

Concelhos Rib. Oeste	Consumos de água anuais no setor pecuário por concelho (hm ³ /ano)									
	Bovinos		Suínos		Ovinos		Caprinos		Total	
	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo
Alenquer	0,00024	0,00076	0,00008	0,00078	0,00019	0,00033	0,00003	0,00002	0,00054	0,00189
Cadaval	0,00201	0,01495	0,00199	0,03485	0,00101	0,00062	0,00070	0,00101	0,00571	0,05143
Torres Vedras	0,01000	0,12959	0,00141	0,00000	0,00058	0,00143	0,00020	0,00000	0,01219	0,13102
Subtotal	0,01225	0,1453	0,00348	0,03563	0,00178	0,00238	0,00093	0,00103	0,01844	0,18434
Total/espécie animal	0,15755		0,03911		0,00416		0,00196			
Total na massa de água	0,20278									

As necessidades de água para o setor pecuário são de 0,203 hm³ por ano para a massa de água subterrânea. As necessidades de água para a pecuária, satisfeitas por origens subterrâneas são apresentadas no Quadro 4-5. A Figura 4-3 ilustra estes resultados.

Quadro 4-5 – Necessidades de água para o setor da Pecuária satisfeitas por origens subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Volume (hm ³ /ano)
O25 – Torres Vedras	0,032

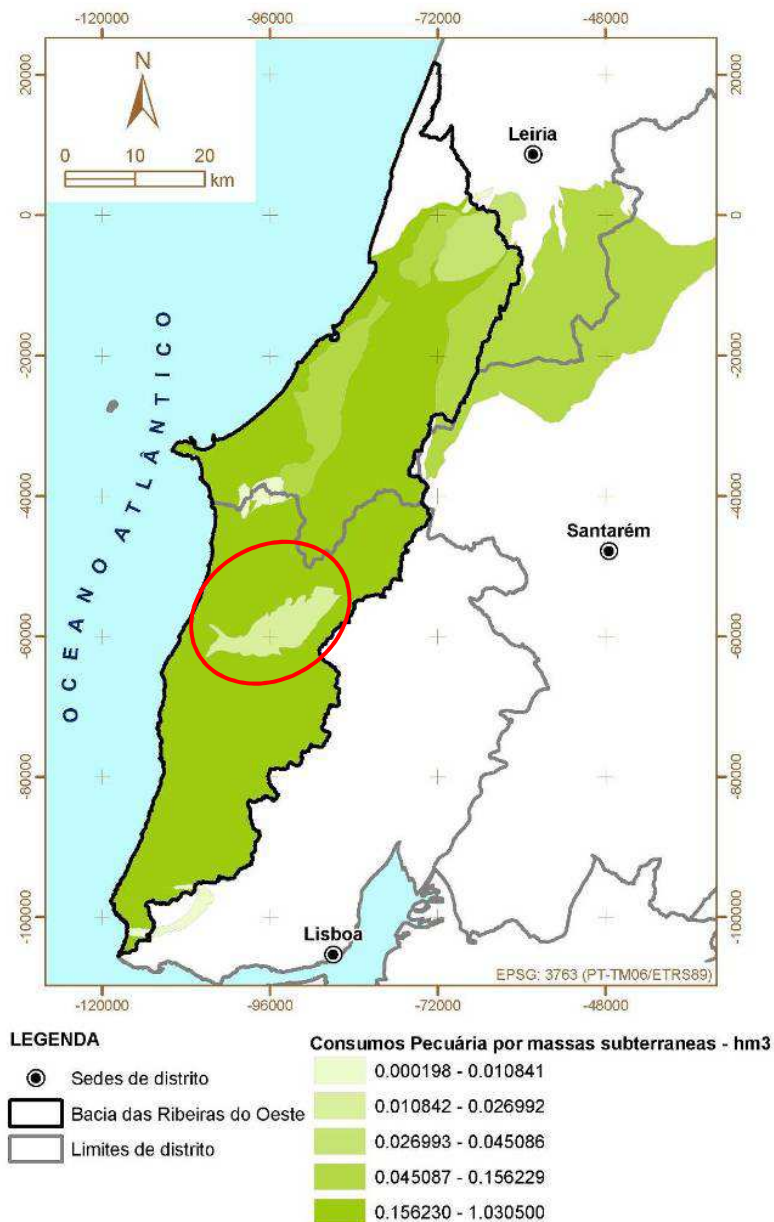


Figura 4-3 – Consumos de água pelo setor da pecuária satisfeitos por origens subterrâneas: volumes por massa de águas subterrâneas (hm³)

4.1.1.4 D. Indústria

As necessidades de água por concelho são apresentadas no Quadro 4-6. As necessidades de água estimadas para a indústria ascendem a 2,25 hm³/ano. Os concelhos com maiores necessidades de água correspondem aos concelhos com maior número de estabelecimentos industriais, designadamente: Alcobaça (466 unidades industriais), Torres Vedras (336) e Mafra (298). Os volumes fornecidos pela

massa de águas subterrâneas apresentam-se no Quadro 4-7. A Figura 4-4 ilustra a distribuição das necessidades de água para a indústria por massa de águas subterrâneas.

Quadro 4-6 – Distribuição das necessidades anuais de água dos estabelecimentos industriais por concelhos

Concelhos	Necessidades de água (m ³ /ano)
Alenquer	99 062
Cadaval	371 110
Torres Vedras	1 776 923
TOTAL	2 247 095

Quadro 4-7 – Necessidades de água para o setor da Indústria

Massa de águas subterrâneas	Volume (hm ³ /ano)
O25 – Torres Vedras	0,287

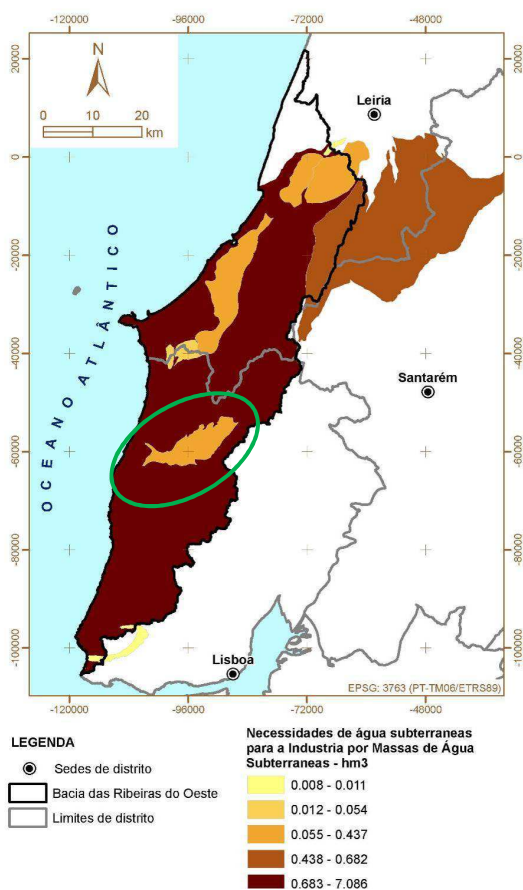


Figura 4-4 – Distribuição das necessidades de água para a indústria por massa de águas subterrâneas

4.1.2 Avaliação do balanço entre necessidades, disponibilidades e potencialidades

A estimativa das necessidades satisfeitas por origens de água subterrâneas para os setores do Abastecimento urbano, Indústria, Rega e Pecuária é apresentada no Quadro 4-8. Para além dos setores acima indicados, considerou-se o setor Turismo, correspondente às necessidades de água para rega dos campos de golfe. No Quadro 4-9 apresentam-se os valores estimados para a recarga resultante da rega. O cálculo do balanço hídrico na massa de águas subterrâneas é apresentado no Quadro 4-10.

Quadro 4-8 – Volumes de água provenientes de origens subterrâneas (hm³/ano)

Massa de águas subterrâneas	Abastecimento público	Agricultura		Pecuária	Indústria
		Ano Médio (50%)	Ano Seco (80%)		
O25 - Torres Vedras	0,027	0,975	1,141	0,032	0,287

Quadro 4-9 – Recargas anuais resultantes da rega na massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Recargas (hm ³ /ano)		
	Ano médio	Ano seco	Ano húmido
O25 – Torres Vedras	0,236	0,276	0,195

Quadro 4-10 – Balanço hídrico dos recursos subterrâneos para o ano médio na massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Recarga BALSEQ			Recarga ARH-Tejo		Necessidades por captações subterrâneas (hm ³ /ano) ⁽³⁾	Taxa de exploração (%) ⁽²⁾
	(mm/ano)	(hm ³ /ano)	% Prec.	% Prec.	(hm ³ /ano)		
O25 – Torres Vedras	176	14,04	25	15	8,42	1,321	15,7

⁽²⁾ Para a taxa de exploração foram utilizados os valores mais restritivos de recarga.

⁽³⁾ Estes valores são as necessidades totais satisfeitas pelas águas subterrâneas não tendo sido subtraídos os valores que são devolvidos ao meio hídrico subterrâneo pela infiltração das perdas da água de rega.

4.2 ABASTECIMENTO E TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

O n.º de captações de água para abastecimento público apresenta-se no Quadro 4-11.

Quadro 4-11 – Número de captações presentes na massa de água subterrânea

Massa de águas subterrâneas	N.º captações
O25 – Torres Vedras	4

Fonte: Inventário nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais, INAG 2010 (Dados relativos a 2008)

4.3 CARATERIZAÇÃO E ANÁLISE DE VULNERABILIDADES

4.3.1 Riscos de poluição accidental

A poluição accidental é um tipo de poluição que, como o próprio nome indica, resulta de episódios imprevisíveis. Como qualquer outro tipo de poluição da água, também esta pode provocar problemas nos ecossistemas aquáticos e nas massas de água localizados a jusante do acidente.

Assim, muitos dos potenciais riscos de poluição accidental estão associados às próprias pressões identificadas, muito em especial às associadas a indústrias com sistemas de retenção de efluentes líquidos ou sólidos passíveis de sofrerem ruturas accidentais. Outro tipo de poluição accidental pode estar relacionado com a ocorrência de fenómenos accidentais abrangentes que podem ter consequências ao nível da qualidade dos recursos, como por exemplo o caso dos fogos florestais e as suas implicações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos de jusante.

As áreas sujeitas a poluição accidental foram classificadas em cinco graus de risco, sendo este risco definido pela conjunção de proximidade de duas situações: (i) atividades/ocupações do solo potencialmente indutoras de picos de poluição, na sequência de hipotéticos acidentes de origem natural ou artificial; (ii) locais especialmente sensíveis a tais picos de poluição, a saber, captações de água para consumo humano e áreas sensíveis. A metodologia da cartografia dos graus de risco de poluição accidental foi apresentada no relatório LNEC 290/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). A Figura 4-5 apresenta a proposta para a classificação do território, de acordo com o grau de risco de poluição accidental.

Além da avaliação do risco de poluição accidental ligado a infraestruturas fixas, o risco de poluição accidental durante o transporte de substâncias potencialmente perigosas foi avaliado para a componente componente de águas subterrâneas. As estradas são os locais onde existe maior risco de ocorrência de acidentes de poluição durante o transporte, tendo este risco de poluição accidental sido avaliado segundo a metodologia de Leitão et al. (2005). Nesta metodologia definem-se como zonas hídricas sensíveis aos poluentes rodoviários, áreas a proteger e para onde não se devem fazer descargas diretas de águas de escorrência de estradas (e, portanto, também muito sensíveis a derrames accidentais de quaisquer substâncias estranhas à atividade rodoviária), devendo aí implementar-se sistemas de tratamento adequados,

promovendo a diminuição da poluição proveniente das estradas para níveis aceitáveis, antes da descarga.

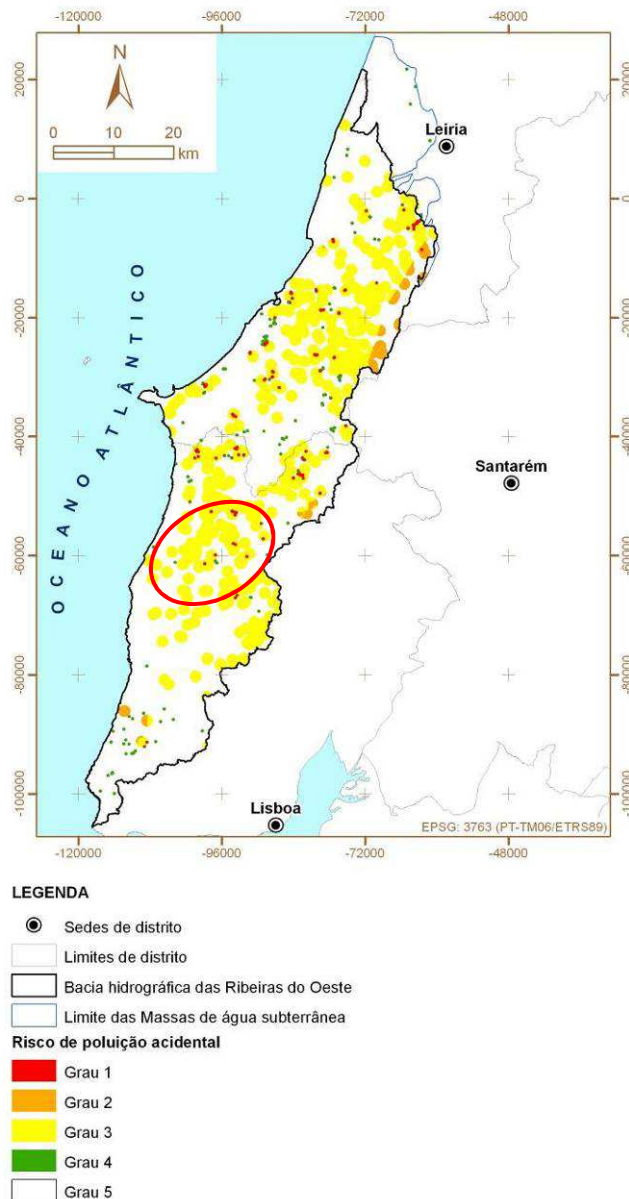


Figura 4-5 – Mapa da classificação do território do plano, de acordo com o grau de risco de poluição acidental

São zonas em risco os meios cársicos, as **áreas de infiltração máxima** e as zonas com o **nível piezométrico temporariamente muito próximo da superfície**. Devem ainda considerar-se para a definição de zonas em risco, os condicionamentos legais relativos à proteção dos usos de águas subterrâneas. As **zonas de proteção intermédia** são zonas sensíveis. A avaliação do risco de poluição acidental das áreas de infiltração máxima fez-se com base no índice IFI, desenvolvido por Oliveira e Lobo

Ferreira (2002a e b) cuja metodologia aplicação à bacia hidrográfica das Ribeiras do Oeste foi descrita no relatório LNEC 290/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). A Figura 4-6 apresenta o mapeamento IFI a que se sobrepôs a rede de estradas, zonas de proteção de captações e nascentes hidrominerais. A Figura 4-7 apresenta ainda uma zona adjacente de 1 km a estas estruturas, o que permite classificar o risco de poluição acidental proveniente de estradas, para as águas subterrâneas. Podem ser classificadas como “zonas em risco” as correspondentes às classes Alto e Muito Alto.

As classes de risco consideradas (resultantes da divisão da escala do índice I_{FI}) são as seguintes:

- 3 a 15 – Baixo
- 16 a 20 – Medio
- 21 a 25 – Alto
- 26 a 30 – Muito Alto

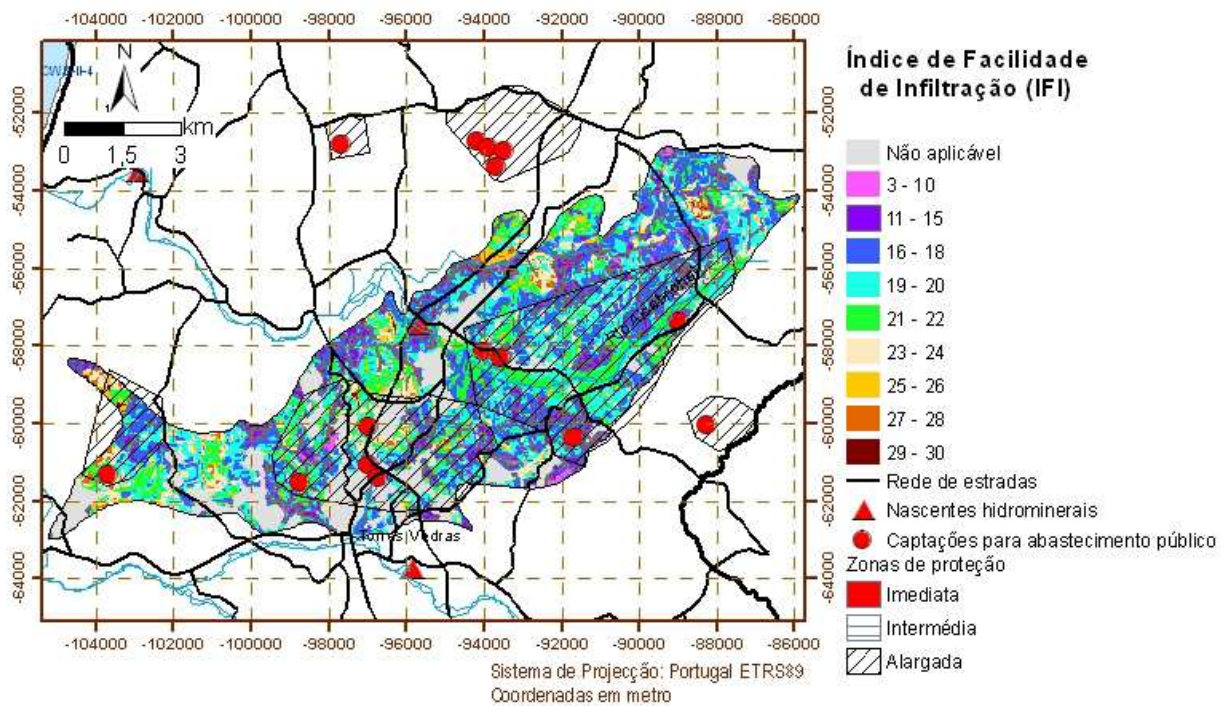


Figura 4-6 – Mapa IFI do risco de poluição acidental associado a estradas

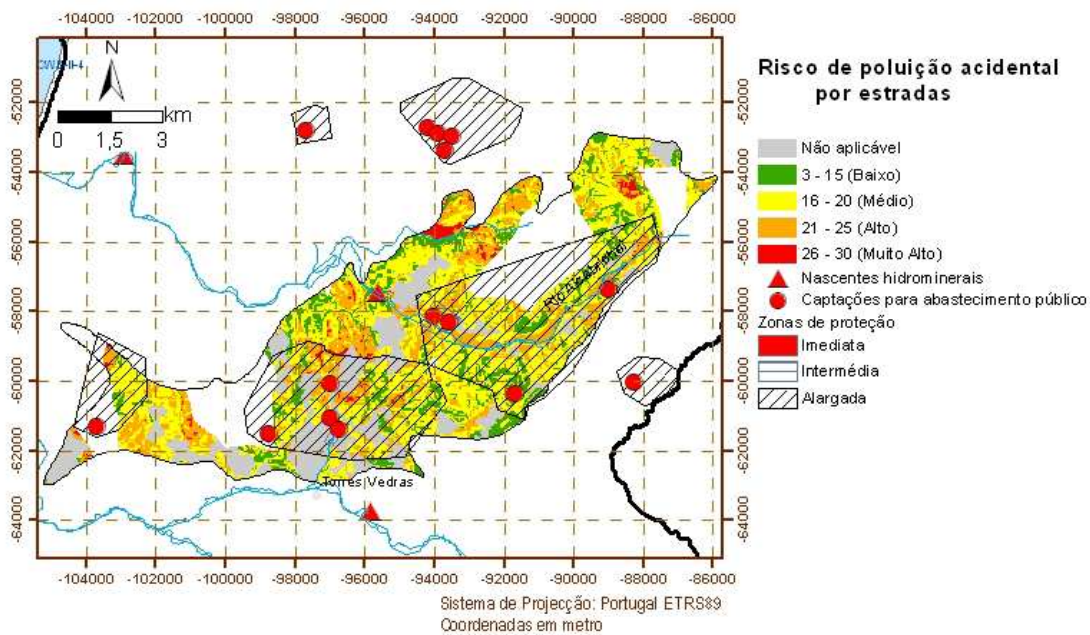


Figura 4-7 – Mapa da classificação do risco de poluição accidental associado a estradas

4.4 PRESSÕES NATURAIS E INCIDÊNCIAS ANTROPOGÉNICAS SIGNIFICATIVAS

4.4.1 Nota introdutória

As pressões levantadas (conforme ao Anexo III, Especificações Técnicas do Lote 2; cf. relatório LNEC 290/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011) para as metodologias de identificação, caracterização e quantificação) foram as seguintes:

- Qualitativas: tópicas e difusas;
- Quantitativas: captações de água.

4.4.2 Poluição tópica (impactes associados a casos significativos, existentes e previstos)

4.4.2.1 Componente urbana

O levantamento dos TURH de fossas sépticas e ETAR compactas com descarga no solo indicou os seguintes valores (Quadro 4-12). No Quadro 4-13 apresentam-se as cargas de CQO, CBO5, SST, N e P descarregadas pelas fossas sépticas por massa de água, bem como os volumes de águas residuais tratadas descarregadas no solo.

Quadro 4-12 – Distribuição das fossas sépticas e ETAR compactas com descarga no solo

Massa de águas subterrâneas	N.º de instalações			População servida (hab.)
	Fossas	ETAR compacta	Total	
O25 – Torres Vedras	1	0	1	30

Quadro 4-13 – Cargas geradas por fossas sépticas e ETAR compactas com descarga no solo

Massa de águas subterrâneas	CQO	CBO5	SST	N	P	Volume
	(kg/ano)	(kg/ano)	(kg/ano)	(kg/ano)	(kg/ano)	(m ³ /ano)
O25 – Torres Vedras	675	338	338	9	27	1 200

4.4.2.2 Instalações PCIP

Indústria transformadora

No Quadro 4-14 indicam-se as Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes potencialmente presentes na massa de água em função das instalações de Indústria Transformadora inventariadas.

Quadro 4-14 – Indústria Transformadora: substâncias prioritárias e outros poluentes potencialmente presentes

Massa de águas subterrâneas	N.º	CAE	Substâncias prioritárias e outros poluentes
O25 – Torres Vedras	2	23321	Cádmio; chumbo e compostos; mercúrio e compostos; níquel e compostos
	1	24510	Antraceno; cádmio; chumbo e compostos; mercúrio e compostos; níquel e compostos; PAH; compostos de tributilestanho

Aterros sanitários

Na massa de águas subterrâneas existe um aterro sanitário, localizado em Vilar, concelho do Cadaval (Quadro 4-15). Os lixiviados e restantes águas residuais produzidas neste aterro (domésticas e industriais) são descarregados em coletor municipal, e encaminhadas para a ETAR da Charneca, em Óbidos (da Águas do Oeste). No Quadro 4-16 apresentam-se as Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes associadas a aterros sanitários que podem ocorrer em resultado de roturas, acidentes ou outras situações que levam a lixiviação.

Quadro 4-15 – Distribuição dos aterros sanitários

Massa de águas subterrâneas	Aterros sanitários (n.º)
O25 – Torres Vedras	1

Quadro 4-16 – Aterros sanitários: substâncias prioritárias e outros poluentes potencialmente presentes

Massa de águas subterrâneas	N.º	Substâncias prioritárias e outros poluentes
O25 – Torres Vedras	1	Benzeno; cádmio, chumbo e mercúrio e outros metais pesados; antraceno, fluoranteno e outros PAH; Éter defínílico bromado e DEHP; cianetos, fenóis e compostos orgânicos halogenados

Indústria extrativa

De acordo com os dados fornecidos pela DGEg, na massa de água há 1 pedreira de areia (Quadro 4-17). Não existe indicação da existência de pedreiras abandonadas. Uma vez que na massa de águas subterrâneas as minas em atividade se dedicam à extração de areia não se considera provável que exista contaminação das águas subterrâneas por substâncias prioritárias e outros poluentes.

Quadro 4-17 – Distribuição das pedreiras ativas

Massa de águas subterrâneas	Pedreiras (n.º)	Substância explorada
O25 – Torres Vedras	1	Areia

Lixeiras encerradas

O número de lixeiras encerradas é de 1 (Quadro 4-18). Nos Quadro 4-19 apresentam-se as Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes associadas a lixeiras encerradas que podem ocorrer em resultado de roturas, acidentes ou outras situações que levam a lixiviação.

Quadro 4-18 – Distribuição das lixeiras encerradas

Massa de águas subterrâneas	Lixeiras encerradas (N.º)
O25 – Torres Vedras	1

Quadro 4-19 – Lixeiras encerradas: substâncias prioritárias e outros poluentes potencialmente presentes

Massa de águas subterrâneas	N.º	Substâncias prioritárias e outras substâncias
O25 – Torres Vedras	1	Benzeno; cádmio, chumbo e mercúrio e outros metais pesados; antraceno, fluoranteno e outros PAH; éter defínico bromado e DEHP; cianetos, fenóis e compostos orgânicos halogenados

4.4.3 Poluição difusa (impactes associados a casos significativos, existentes e previstos)

4.4.3.1 Adegas, Lacticínios e Matadouros

As unidades existentes na massa de águas subterrâneas fazem descarga de efluentes em linha de água, pelo que não foram consideradas. Não foram identificadas estruturas com descarga de efluentes no solo.

4.4.3.2 Aviculturas

De acordo com o levantamento efetuado, existem as seguintes aviculturas com descarga no solo na área da massa de águas subterrâneas (Quadro 4-20). No Quadro 4-21 apresentam-se as cargas estimadas de azoto e fósforo para as aviculturas que fazem descarga para o solo.

Quadro 4-20 – Distribuição das aviculturas com descarga no solo

Massa de águas subterrâneas	Aviários (n.º)	Efetivos (n.º)	CN (n.º)	Área de espalhamento (ha)
O25 – Torres Vedras	1	7 700	193	3

Quadro 4-21 – Cargas geradas pelas aviculturas com descarga para o solo

Massa de águas subterrâneas	MO	N	P	Substâncias prioritárias e Outros Poluentes
	(t/ano)	(t/ano)	(kg/ano)	
O25 – Torres Vedras	92,4	6,5	3,1	Cobre e Zinco

4.4.3.3 Suiniculturas

No Quadro 4-22 apresenta-se a distribuição na massa de águas subterrâneas das suiniculturas que fazem descarga de efluentes no solo. No Quadro 4-23 apresentam-se as cargas estimadas de azoto e fósforo para as suiniculturas que fazem descarga para o solo.

Quadro 4-22 – Distribuição das suiniculturas com descarga no solo

Massa de águas subterrâneas	Suiniculturas (n.º)	Efetivos (n.º)	Animais-Equivalente (n.º)	Área de espalhamento (ha)
O25 – Torres Vedras	3	525	5 116,0	12,4

Quadro 4-23 – Cargas geradas pelas suiniculturas com descarga para o solo

Massa de águas subterrâneas	CQO (t/ano)	CBO (t/ano)	SST (t/ano)	N (t/ano)	P (t/ano)	Subst. Prior. e outros poluentes
O25 – Torres Vedras	1,535	0,614	1,023	0,092	0,031	--

4.4.3.4 Boviniculturas

Na massa de águas subterrâneas de Torres Vedras não foi referenciada a existência de boviniculturas. Deste modo não se contabilizou carga poluente relativa a esta fonte.

4.4.3.5 Agricultura

No Quadro 4-24 apresentam-se as áreas das culturas agrícolas anuais, permanentes e heterogêneas na massa de águas subterrâneas, conforme Corine Land Cover 2006 (CLC2006). No Quadro 4-25 apresentam-se as cargas estimadas para as atividades agrícolas consideradas.

Quadro 4-24 – Distribuição das áreas agrícolas de acordo com o CLC'2006

Massa de águas subterrâneas	Áreas agrícolas (ha)		
	Anuais	Permanentes	Heterogêneas
O25 – Torres Vedras	0	707	1385

Quadro 4-25 – Cargas originada pelas culturas agrícolas na BHRO

Massa de águas subterrâneas	Cargas (ton/ano)	
	N	P
O25 – Torres Vedras	7,313	1,182

No que toca a substâncias prioritárias e outros poluentes, à partida, podem surgir as seguintes em consequência da atividade agrícola:

- Alacloro
- Atrazina
- Aldrina

- Dieldrina
- Endrina
- DDT
- Hexaclorobezeno
- Diurão
- Clorpirifos

4.4.3.6 Campos de golfe

De acordo com o inventário realizado, nenhum dos campos em exploração se situa na massa de água, embora estejam em atividade 2 no concelho de Torres Vedras. Estão previstos mais 3 campos, nos concelhos de Torres Vedras.

4.4.4 Resultados globais

No Quadro 4-26 apresentam-se os valores globais para as cargas de Azoto geradas pelas diferentes atividades analisadas e respetivas percentagens, agrupadas por setores: pecuária, agro-indústria e agricultura. As Substâncias Prioritárias e outros poluentes, associadas às diferentes atividades económicas, que poderão vir a contaminar as águas subterrâneas em consequência de acidentes e/ou deposição ilegal, são assinalados no Quadro 4-27.

Quadro 4-26 – Poluição difusa: cargas de azoto originadas pelos setores da pecuária, agro-indústria e agricultura na BHRO

Massa de águas subterrâneas	Pecuária		Agro-Indústria		Agricultura		Totais
	N (t/ano)	%	N (t/ano)	%	N (t/ano)	%	N (t/ano)
O25 – Torres Vedras	6,592	30,3	7,875	36,2	7,313	33,6	21,780

Quadro 4-27 – Poluição tóxica e difusa: substâncias prioritárias e outros poluentes eventualmente presentes

Massa de águas subterrâneas	Indústria Transformadora	Aterros sanitários	Lixeiras encerradas	Golfes e Agricultura	Pecuária
O25 – Torres Vedras	Cádmio; Chumbo e compostos; Mercúrio e compostos; Níquel e compostos; Antraceno; PAH; Compostos de Tributilestanho	Benzeno; cádmio, chumbo e mercúrio e outros metais pesados; antraceno, fluoranteno e outros PAH; Éter definílico bromado e DEHP; Cianetos, fenóis e compostos orgânicos halogenados	Benzeno; cádmio, chumbo e mercúrio e outros metais pesados; antraceno, fluoranteno e outros PAH; Éter definílico bromado e DEHP; cianetos, fenóis e compostos orgânicos halogenados	Diurão	Cobre e Zinco

4.4.5 Captações de água

A distribuição das captações de água subterrâneas em número e volumes por usos e massas de água apresenta-se no Quadro 4-28.

Quadro 4-28 – Abastecimento. Volumes de água provenientes de captações subterrâneas licenciadas pela ARH Tejo e CCDRC e CCDRLVT

Massa de águas subterrâneas	Abastecimento		Agricultura		Pecuária		Indústria		Turismo		Outros		Total	
	hm ³	n.º	hm ³	n.º	hm ³	n.º	hm ³	n.º	hm ³	n.º	hm ³	n.º	hm ³	n.º
O25 – Torres Vedras	0,01	3	0,502	55	0,062	10	0,6611	30	0,0012	1	1,368	14	2,60	113

4.4.6 Situações existentes ou previstas que podem comprometer os objetivos ambientais

Tendo em conta a análise das fontes de poluição tóxica e difusa atrás apresentada e os resultados da avaliação do estado químico da massa de águas subterrâneas, indicam-se no Quadro 4-29 as situações existentes que podem pôr em causa o cumprimento dos objetivos ambientais.

Quadro 4-29 – Estado Químico da massa de águas subterrâneas e fontes de poluição tóxica e difusa com impacte ambiental

Massa de águas subterrâneas	Cumprido o <u>critério</u> do limiar ou NQA?	Resultado do teste	Setores relacionados
O25 – Torres Vedras	Não: As, Cl ⁻ , pesticidas e NH ₄ ⁺	● Mediocre	Lixeiros encerradas; aterros sanitários; fossas sépticas; ind. transformadora; agro-indústria; pecuária (avicultura); agricultura

4.5 ZONAS PROTEGIDAS E ÁREAS CLASSIFICADAS

4.5.1 Zonas designadas para a captação de água destinada ao consumo humano

Na Figura 4-8 apresentam-se os perímetros de proteção na área do PBH Oeste.

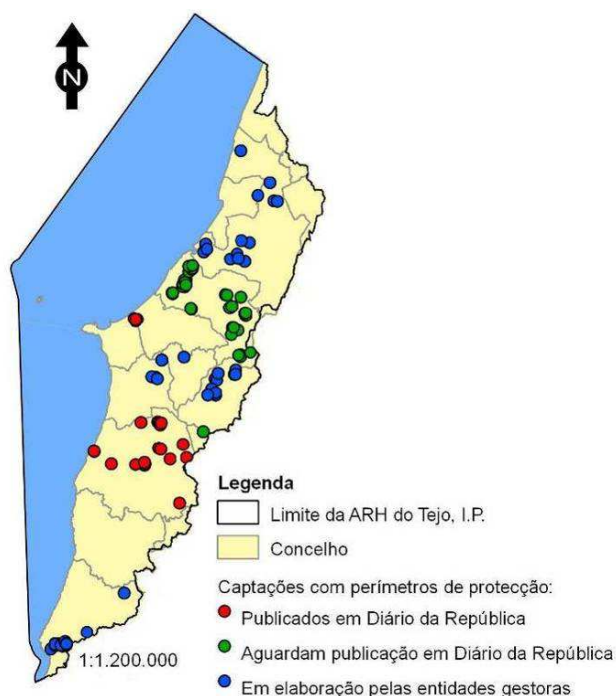


Figura 4-8 – Situação relativa a perímetros de proteção na área do PBH Oeste
<http://www.arhtejo.pt/web/guest/perimetros-de-proteccao1>, consultado em Maio de 2011)

Quanto aos perímetros de proteção na área da massa de águas subterrâneas, em 2 de Março de 2011 foi publicada a Portaria n.º 93/2011, que aprovou a delimitação dos perímetros de proteção de 18 captações de água subterrânea dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS) de Torres Vedras, no concelho de Torres Vedras, designadas por:

- JFF10 e JK3 do pólo de captação de Santa Cruz.
- JFF9 do pólo de captação de Casas Novas.
- JFF3, PS1, JK11 e JK14 do pólo de captação de Torres Vedras.
- AC22 e AC23 do pólo de captação de Ramalhal.
- MA1 e JK1-Maxial do pólo de captação de Maxial.
- JFF5 do pólo de captação de Dois Portos.

4.5.2 Zonas vulneráveis (delimitação das zonas especiais de proteção e resumo da tipificação e dos condicionamentos de utilização)

Não está definida nenhuma zona vulnerável na área da massa de águas subterrâneas.

4.5.3 Zonas de infiltração máxima

No Quadro 4-30 apresentam-se os municípios com delimitação de REN municipal aprovada e os respetivos atos administrativos que as publicaram.

Quadro 4-30 – Municípios e atos administrativos que aprovam as respetivas delimitações de REN municipais

Municípios	Primeira publicação	Alterações
Alenquer	RCM n.º 66/96, de 9 de Maio	
Cadaval	RCM n.º 189/97, de 29 de Outubro	
Torres Vedras	RCM n.º 98/2002, de 21 de Maio	

5. REDE DE MONITORIZAÇÃO

5.1 ESTADO QUANTITATIVO, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO

A atual rede de quantidade (vigilância e operacional) apresenta valores de IR (Índice de Representatividade) abaixo do recomendável (80%; cf. Quadro 5-1), havendo necessidade de melhorar o desempenho da rede de piezometria quanto à homogeneidade da distribuição espacial e número de pontos. O Quadro 5-2 apresenta o número de pontos e os índices de representatividade da rede otimizada para cada massa de águas subterrâneas. A Figura 5-1 representa a rede de monitorização da piezometria resultante da aplicação da otimização.

Quadro 5-1 – Índice de representatividade para a rede piezométrica

Massa de águas subterrâneas	Área (km ²)	Tamanho da Célula	Rede Piezométrica	
			N.º de Estações	Índice de Representatividade (%)
O25 – Torres Vedras	79,83	50X50	4	77,6

Quadro 5-2 – Número de pontos da rede de piezometria das águas subterrâneas otimizada e índices de representatividade respetivos

Massa de águas subterrâneas	N.º de pontos	Índice de Representatividade (%)
O25 – Torres Vedras	5	86,5

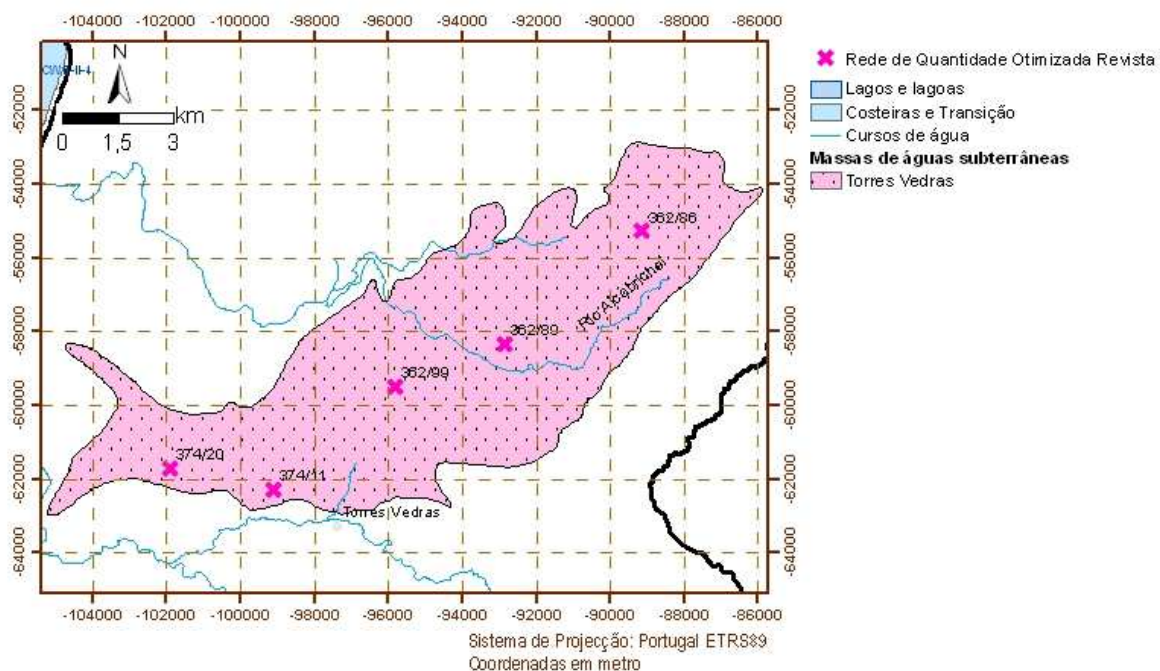


Figura 5-1 – Rede de Quantidade das águas subterrâneas otimizada para a massa de águas subterrâneas de Torres Vedras

5.2 REDE DE VIGILÂNCIA, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO

Os pontos da rede são apresentados na Figura 5-2. No Quadro 5-3 é apresentado o índice de representatividade da rede de qualidade. A rede de vigilância apresenta valores de índice de representatividade abaixo do recomendável (80%). O Quadro 5-4 apresenta o número de pontos e os índices de representatividade para a rede otimizada da massa de águas subterrâneas. A Figura 5-3 apresenta a rede de monitorização de vigilância da qualidade das águas subterrâneas resultante da otimização.

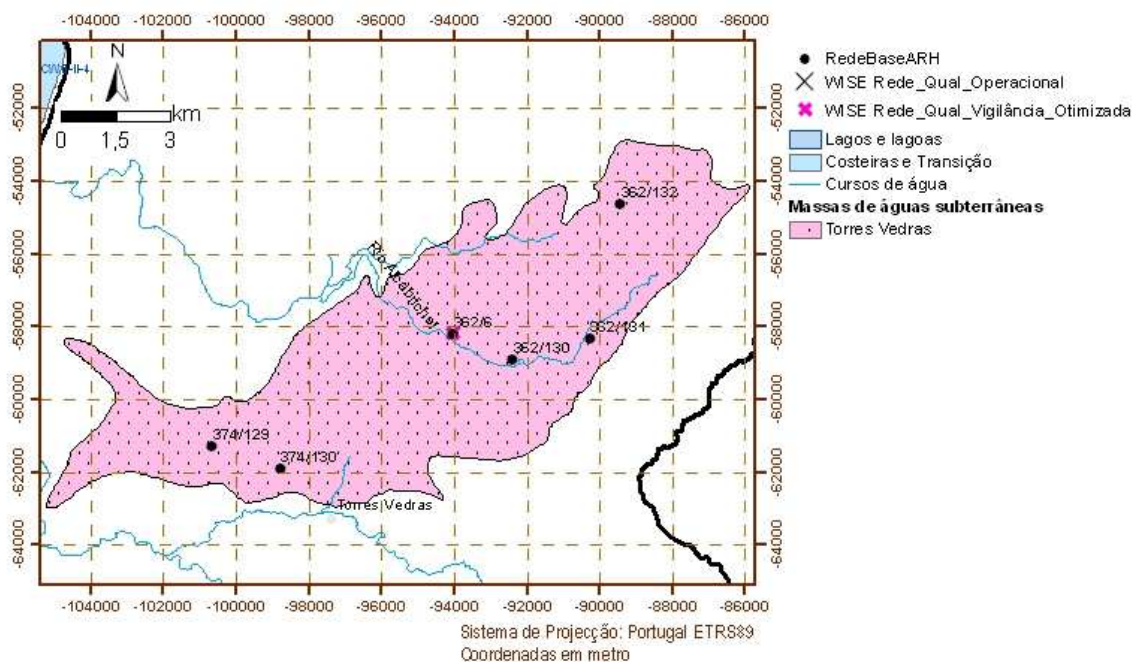


Figura 5-2 – Pontos de monitorização da rede de vigilância e operacional na massa de águas subterrâneas de Torres Vedras

Quadro 5-3 – Índice de Representatividade para as redes de qualidade

Massa de águas subterrâneas	Área (km ²)	Tamanho da Célula	Rede Operacional		Rede de Vigilância	
			N.º de Estações	Índice de Representatividade (%)	N.º de Estações	Índice de Representatividade (%)
O25 – Torres Vedras	79,83	50X50	-	-	1	76,7

Quadro 5-4 – Número de pontos da rede de vigilância da qualidade das águas subterrâneas otimizada e respetivos índices de representatividade

Massa de águas subterrâneas	N.º de pontos	Índice de Representatividade (%)
O25 – Torres Vedras	6	76,7

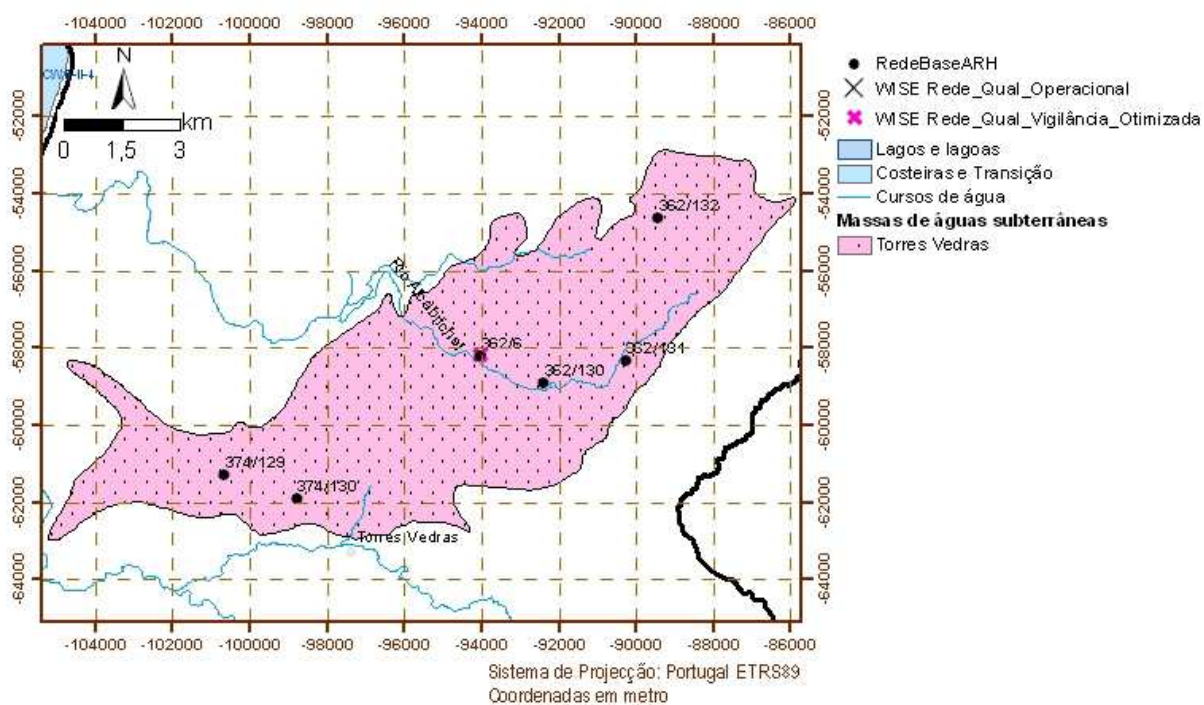


Figura 5-3 – Rede de vigilância da qualidade das águas subterrâneas otimizada a massa de águas subterrâneas de Torres Vedras

5.3 REDE OPERACIONAL, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO

Não existe indicação de rede operacional na massa de águas subterrâneas O25 – Torres Vedras. A única referência a redes operacionais na área da bacia hidrográfica das Ribeiras do Oeste é a da massa de águas subterrâneas O33 – Caldas da Rainha-Nazaré.

5.4 REDE DE SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO

O Quadro 5-5 apresenta a descrição da rede de monitorização de substâncias perigosas em Janeiro de 2011 para a massa de águas subterrâneas O25 – Torres Vedras. Face aos resultados da qualidade das águas subterrâneas em zonas envolventes de lixeiras considera-se necessária a alteração das redes de monitorização.

Quadro 5-5 – Rede de substâncias perigosas

Nº Inventário	Coord. M (m)	Coord. P (m)	Tipo Ponto de Água	Concelho	Foco Poluente	PARÂMETROS
374/139	98423	239180	Furo vertical	Torres Vedras	Lixeira Torres Vedras (S. Pedro/S. Tiago)	HCH alfa, HCH delta, Carbono orgânico total, Tricloroetileno, Xilenos, 4-cloro-3-metilfenol, Mecoprope, Isopropilbenzeno, Naftaleno, Benzeno, Simazina, Bentazona, Chumbo, Cobre, Tributilestanho, Tetracloroetileno, Tributilfosfato, Tolueno, pH, Condutividade, Mercúrio, Cádmio, Sulfatos, Cloretos, Fosfatos (expressos em mg/l de P e PO4 e P2O5), Azoto amoniacal, Nitratos, Cianetos, Estanho, Fluoretos, Nitritos, Antimónio, Arsénio, Berílio, Cobalto, Crómio, Molibdénio, Níquel, Vanádio, Zinco, Urânio, Amoníaco, Boro, Manganês, Bário, AOX, Potássio, Fenóis, Sulfuretos, Alumínio, Ferro
374/140	98045	239400	Furo vertical	Torres Vedras	Lixeira Torres Vedras (S. Pedro/S. Tiago)	HCH alfa, HCH delta, Carbono orgânico total, Tricloroetileno, Xilenos, 4-cloro-3-metilfenol, Mecoprope, Isopropilbenzeno, Naftaleno, Benzeno, Simazina, Bentazona, Chumbo, Cobre, Tributilestanho, Tetracloroetileno, Tributilfosfato, Tolueno, pH, Condutividade, Mercúrio, Cádmio, Sulfatos, Cloretos, Fosfatos (expressos em mg/l de P e PO4 e P2O5), Azoto amoniacal, Nitratos, Cianetos, Estanho, Fluoretos, Nitritos, Antimónio, Arsénio, Berílio, Cobalto, Crómio, Molibdénio, Níquel, Vanádio, Zinco, Urânio, Amoníaco, Boro, Manganês, Bário, AOX, Potássio, Fenóis, Sulfuretos, Alumínio, Ferro

5.5 REDE DE NASCENTES, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO

Não existe nenhuma rede de monitorização de nascentes em operação neste momento, não havendo quaisquer elementos relevantes, de acordo com o estado atual do conhecimento hidrogeológico, obtidos no âmbito da realização do plano, que levem a considerar o controlo de caudais em nascentes. Assim, não se encontra justificação neste momento para implementar uma rede de nascentes na massa de águas subterrâneas.

5.6 ZONAS PROTEGIDAS

5.6.1 Zonas designadas para a captação de água destinada ao consumo humano

Não se encontra justificação neste momento para alterar este controlo.

5.6.2 Zonas vulneráveis e zonas de infiltração máxima

Não está definida nenhuma zona vulnerável na área da massa de águas subterrâneas.

6. AVALIAÇÃO DO ESTADO DA MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

6.1 ESTADO QUANTITATIVO

O Quadro 6-1 apresenta a definição do Bom estado quantitativo das águas subterrâneas, segundo a DQA e o Decreto-Lei n.º 77/2006.

Quadro 6-1 – Definição do estado quantitativo (Decreto-Lei n.º 77/2006, Anexo V, n.º II, ou DQA, Anexo V, n.º 2)

Elementos	Bom estado
Nível freático	<p>O nível da água na massa de águas subterrâneas é tal que os recursos hídricos subterrâneos disponíveis não são ultrapassados pela taxa média anual de captação a longo prazo.</p> <p>Assim, os níveis freáticos não estão sujeitos a alterações antropogénicas que possam:</p> <ul style="list-style-type: none"> • impedir que sejam alcançados os objetivos ambientais especificados nos termos dos artigos 44.º e 46.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro (ou do art.º 4.º da DQA), para as águas superficiais que lhe estão associadas; • deteriorar significativamente o estado dessas águas; • provocar danos significativos nos ecossistemas terrestres diretamente dependentes do aquífero. <p>Podem ocorrer temporariamente, ou continuamente em áreas limitadas, alterações na direção do escoamento subterrâneo em consequência de variações de nível, desde que essas alterações não provoquem intrusões de água salgada, ou outras, e não indicam uma tendência antropogenicamente induzida, constante e claramente identificada, suscetível de conduzir a tais intrusões.</p>

A Figura 6-1 representa o resultado da avaliação das tendências de evolução dos níveis piezométricos (reportadas aos níveis piezométricos máximos anuais). As análises de tendências dos níveis piezométricos e do balanço hídrico foram realizadas nas secções 3.2 e 3.3, não tendo sido suficientes para classificar a massa de águas subterrâneas com o estado medíocre. De referir contudo que a avaliação das tendências de evolução dos níveis piezométricos ao longo do tempo mostrou algumas situações de descida nesta massa de águas subterrâneas, embora o comprimento das séries e a irregularidade dos períodos de medição dos níveis não permita com segurança confirmar uma tendência de descida. Para ultrapassar esta incerteza cruzou-se a avaliação das tendências de evolução dos níveis piezométricos com o estado dos ecossistemas dependentes, o teste do escoamento superficial e do balanço hídrico subterrâneo para aferir o estado quantitativo da massa de águas subterrâneas.

Para esta massa de águas subterrâneas (MAS) foram identificadas duas massas de águas de superfície (MASup) associadas. Os elementos hidromorfológicos da MASup rio Alcabrichel (PT04RDW1179) foram classificados como estando em estado excelente. Logo esta massa de águas subterrâneas não pode considerar-se como contribuindo para a degradação da qualidade da massa de águas superficiais associada, com base na hipotética diminuição do caudal de base. A MASup rio Sizandro (PT04RDW1180) não foi alvo de monitorização pelo que não existem dados disponíveis de avaliação de estado dos elementos hidromorfológicos.

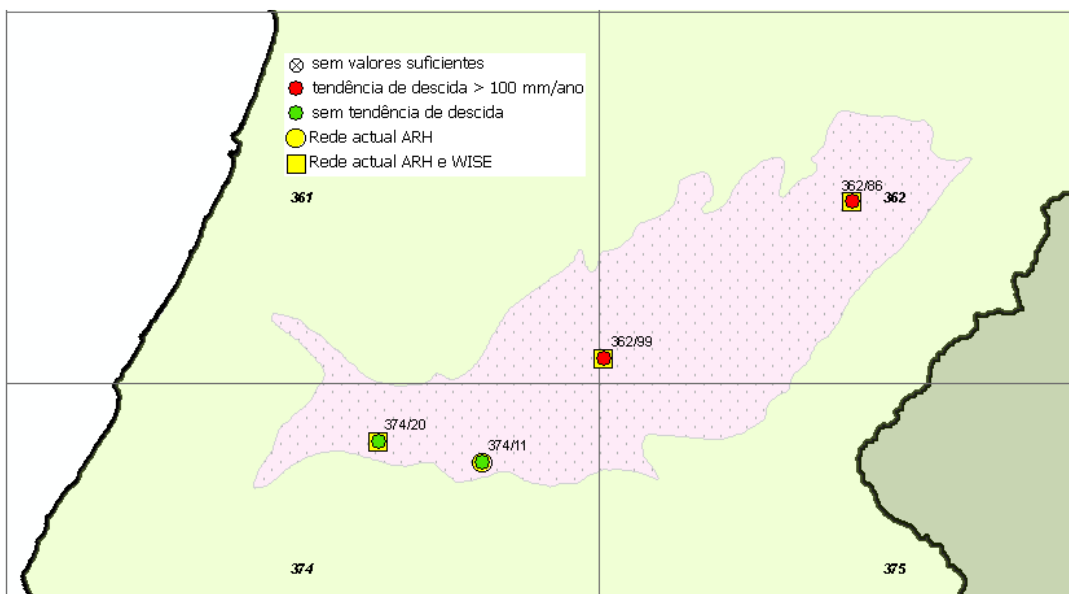


Figura 6-1 – Evolução dos níveis piezométricos no PBH Oeste por ponto de monitorização

O Quadro 6-2 apresenta os resultados do teste do escoamento superficial realizado para os segmentos das massas de águas superficiais considerados como estando em conexão hidráulica com esta massa de águas subterrâneas. Não foram identificados ecossistemas terrestres dependentes de águas subterrâneas na área de ocorrência desta massa de águas subterrâneas, pelo que não há justificação para a realização do respetivo teste.

Quadro 6-2 – Teste do escoamento superficial para a massa de águas subterrâneas

Massa de águas superficiais	Segmento da massa de águas superficiais associado	Cumprido o critério do Bom Estado das MASup associadas?	Cumprido o critério da causa significativa?	Resultado do teste
PT04RDW1179	PTRIVSEG1810	Sim	-	● Bom
	PTRIVSEG1812	Sim	-	● Bom
PT04RDW1180	PTRIVSEG1814	Sem dados	-	Sem dados

- Não aplicável

As taxas de exploração calculadas são da ordem de 30,9%, de acordo com os resultados do balanço por massa de águas subterrâneas apresentados no Quadro 6-3. Segundo este balanço, opta-se por se classificar o **estado quantitativo** de todas as massas de águas subterrâneas do PBH Oeste como **“Bom”**. Na Figura 6-5 apresenta-se o resultado dos diversos testes de avaliação do estado quantitativo.

Quadro 6-3 – Balanços extrações de águas subterrâneas / recarga

Massa de águas subterrâneas	Recarga BALSEQ			Recarga ARH-Tejo		Necessidades estimadas (hm ³ /ano) ⁽³⁾	Consumos inventariados (hm ³ /ano) ⁽³⁾	Taxa de exploração (%) ⁽²⁾
	(mm/ano)	(hm ³ /ano)	% Prec.	% Prec.	(hm ³ /ano)			
O25 – Torres Vedras	176	14,04	25	15	8,42	1,321	2,60	30,9

⁽¹⁾ Inclui 26 mm/ano ou 0,17 hm³/ano de recarga de água proveniente do escoamento direto das áreas de drenagem das massas de águas subterrâneas.

⁽²⁾ Para a taxa de exploração foram utilizados os valores mais restritivos de recarga e mais elevados entre as necessidades e os consumos.

⁽³⁾ Estes valores são as necessidades totais satisfeitas pelas águas subterrâneas não tendo sido subtraídos os valores que são devolvidos ao meio hídrico subterrâneo pela infiltração das perdas da água de rega.

6.2 ESTADO QUÍMICO

O Quadro 6-4 apresenta a definição do Bom estado químico das águas subterrâneas, segundo o Decreto-Lei n.º 77/2006 e a DQA.

Quadro 6-4 – Definição do bom estado químico das águas subterrâneas (Decreto-Lei n.º 77/2006, Anexo V, n.º II, ou DQA, Anexo V, n.º 2)

Elementos	Bom estado
Geral	<p>A composição química da massa de águas subterrâneas é tal que as concentrações de poluentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • conforme especificado adiante, não apresentam os efeitos de intrusões salinas ou outras; • Não ultrapassam as normas de qualidade aplicáveis nos termos de outros instrumentos jurídicos comunitários relevantes de acordo com o artigo 17.º da Diretiva Quadro da Água; • Não são de molde a impedir que sejam alcançados os objetivos ambientais especificados nos termos dos artigos 46.º e 48.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, para as águas superficiais associadas, nem a reduzir significativamente a qualidade química ou ecológica dessas massas, nem a provocar danos significativos nos ecossistemas terrestres diretamente dependentes da massa de águas subterrâneas. <p>Podem ocorrer temporariamente, ou continuamente em áreas limitadas, alterações na direção do escoamento subterrâneo em consequência de variações de nível, desde que essas alterações não provoquem intrusões de água salgada, ou outras, e não indicam uma tendência antropogenicamente induzida, constante e claramente identificada, suscetível de conduzir a tais intrusões.</p>
Condutividade	As modificações da condutividade não revelam a ocorrência de intrusões salinas ou outras na massa de águas subterrâneas.

É de referir a este propósito que INAG (2009) estabelece exceções às normas e limiares de qualidade para o estabelecimento do estado químico das massas de águas subterrâneas, de forma a distinguir entre o que é natural e o que tem origem antropogénica, para os parâmetros que podem existir naturalmente numa água subterrânea. Essas exceções aplicam-se à massa de águas subterrâneas O25 –

Torres Vedras, estando descritas no Quadro 6-5. Assim, só se o limiar for ultrapassado, poderá estar a haver uma contaminação com origem antropogénica e nesse caso dever-se-á proceder a uma investigação para se determinar qual a origem do incremento de um ou mais parâmetros.

Quadro 6-5 – Exceções para os limiares no âmbito do PBH Oeste (adaptado de INAG, 2009)

Parâmetro	Exceção	Limiar
pH	O25 – Torres Vedras	4,9

A Figura 6-2 apresenta a síntese da avaliação do estado químico da massa de águas subterrâneas de Torres Vedras, com base no **critério dos limiares ou das NQA**, mostrando que cerca de metade dos pontos de água apresentam estado medíocre, como mostra o Quadro 6-6, na comparação dos valores médios de treze parâmetros com as NQA. O Quadro 6-7 apresenta os resultados da avaliação.

Os parâmetros cujo valor médio se encontra acima do limiar e da NQA em algum ponto de água são os seguintes: arsénio, azoto amoniacal, pesticidas (apenas numa amostra) e cloretos (Figura 6-2). Só o primeiro foi considerado responsável pelo estado químico medíocre de toda a massa (afeta mais de 20% da área afetada, com dois dos nove pontos com valores médios acima do limiar), sendo o valor da média de 0,051 mgAs/L. Não obstante, é de esperar que haja outros parâmetros acima dos valores permitidos na zona envolvente da lixeira de Torres Vedras, possivelmente não detetados dado apenas terem sido aí analisados os sulfatos, os cloretos, o arsénio e os pesticidas.

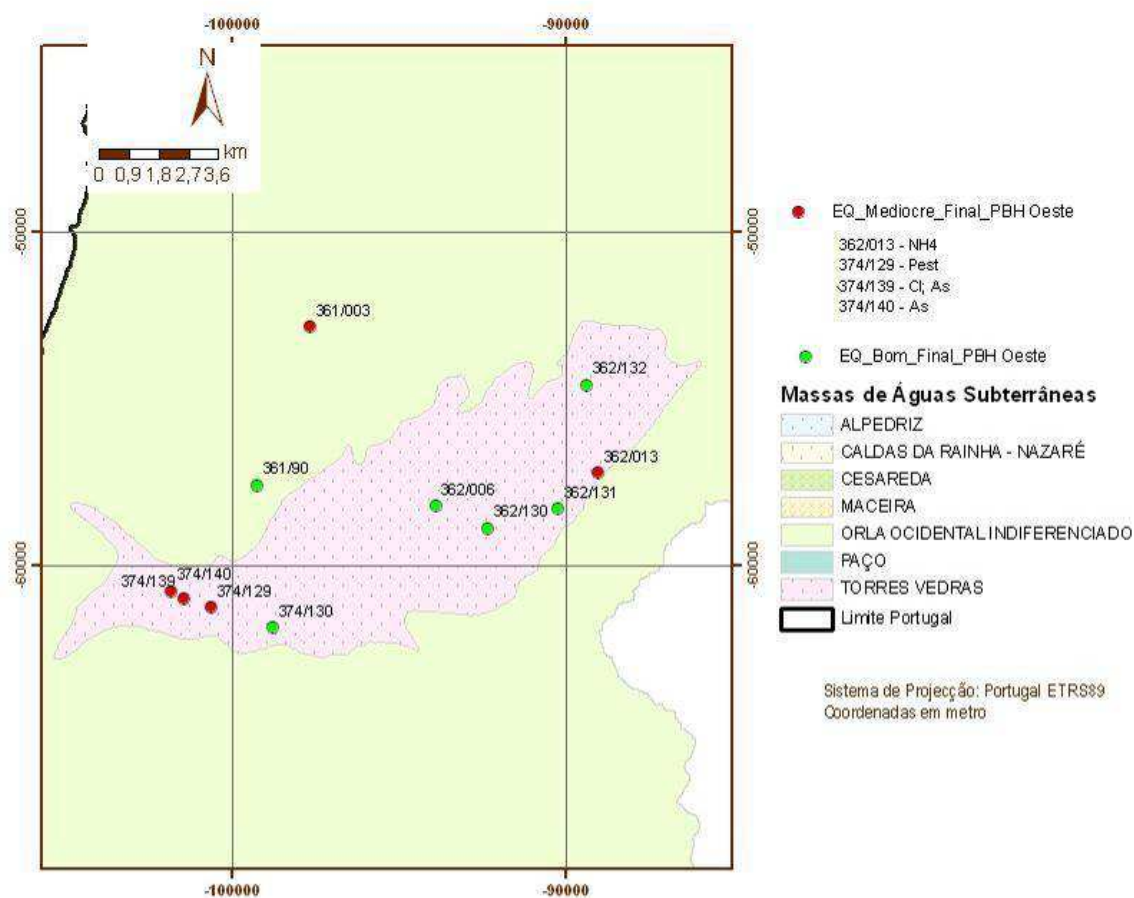


Figura 6-2 – Mapa do estado químico da massa de águas subterrâneas de Torres Vedras, de acordo com o esquema definido no Anexo VII, 2.5 do DL n.º 77/2006

Como se referiu cerca de metade dos pontos de água apresentam estado medíocre, essencialmente devido a elevados valores de arsénio (acima de 0,01 mgAs/L em 2 dos 9 pontos com análise, *i.e.* 22,2% de pontos e 7,7% das análises), azoto amoniacal (acima de 0,5 mgNH₄/L em 1 dos 7 pontos com análise, *i.e.* 14,3% de pontos e 4,9% das análises), pesticidas (acima de 0,1 microg/L em 1 dos 7 pontos com análise, *i.e.* 14,3% de pontos e 11,1% das análises) e cloretos (acima de 250 mgCl/L em 1 dos 8 pontos com análise, *i.e.* 12,5% de pontos e 3,8% das análises).

Os pesticidas totais apareceram acima dos limites de deteção apenas na análise do ponto de monitorização 374/129. Os cloretos encontram-se acima do limiar de 250 mgCl/L apenas no ponto 374/139, com valores médios superiores a 800 mgCl/L. Finalmente o ponto 362/013 apresentou valores de azoto amoniacal acima do limiar nas duas análises químicas efetuadas. A análise de tendência indicou tendência estatisticamente significativa de subida para os nitratos, estando, no entanto as

concentrações ainda muito abaixo do valor limite regulamentar. O chumbo, pelo contrário, apresentou tendência de descida.

Quadro 6-6 – Síntese da informação utilizada para a avaliação do estado químico

Parâmetro	Unidade	n.º análises	Valor					Análises > norma ou limiar	
			Mínimo	Máximo	Média	Mediana	CL95	n.º	%
CE	(µS/cm)	61	220	960,0	593,5	595,0	653,5	0	0
pH		61	3,8	8,5	6,4	6,7	6,1;6,8	7	11
Nitratos	(mgNO ₃ /L)	15	0,97	22,0	5,1	1,7	8,7	0	0
Azoto amoniacal	(mgNH ₄ /L)	61	<0,13	1,6	0,3	<0,025	0,3	3	4,9
Sulfatos	(mgSO ₄ /L)	58	<11	154	52,7	39,4	62,2	0	0
Cloretos	(mgCl/L)	53	27,2	891	116,9	80,0	156,3	2	3,8
Arsénio	(mgAs/L)	26	<0,001	0,280	0,051	<0,001	0,073	2	7,7
Chumbo	(mgPb/L)	49	<0,0015	0,011	0,004	<0,0015	0,005	1	2,0
Cádmio	(mgCd/L)	53	<0,001	0,001	0,0004	<0,0001	0,0005	0	0
Mercurio	(mgHg/L)	22	<0,0001	0,0010	0,0004	<0,0001	0,0006	0	0
Tricloroetileno	(µgTCE/L)	2	<0,2	<0,2	-	-	-	0	0
Tetracloroetileno	(µgPCE/L)	2	<0,3	<0,3	-	-	-	0	0
Pesticidas	(µg/L)	7	<0,288	1,11	1,11	<0,206	-	1	14,3

Quadro 6-7 – Resultado da avaliação dos critérios do teste de avaliação global do estado químico

Parâmetro	Critério do Limiar ou NQA	Critério da Percentagem de área	Critério de confiança	Observações
CE	Sim	-	-	-
pH	Sim	-	-	-
Nitratos	Sim	-	-	-
Azoto amoniacal	Não	Sim	-	Apenas 1 de 7 pontos (14,3%) com análises apresenta média superior ao limiar
Sulfatos	Sim	-	-	-
Cloretos	Não	Sim	-	Apenas 1 de 8 pontos (12,5%) com análises apresenta média superior ao limiar
Arsénio	Não	Não	Não	2 dos 9 (22,2%) pontos com análises apresentam média superior ao limiar
Chumbo	Sim	-	-	-

Parâmetro	Critério do Limiar ou NQA	Critério da Percentagem de área	Critério de confiança	Observações
Cádmio	Sim	-	-	-
Mercúrio	Sim	-	-	-
Tricloroetileno	Sim	-	-	-
Tetracloroetileno	Sim	-	-	-
Pesticidas	Não	Sim	-	Apenas 1 de 7 pontos (14,3%) com análises apresenta média superior à NQA

Os dados de piezometria apontam para que: 1) no setor norte, o sistema aquífero contribua para o caudal de base do rio Alcabrichel e 2) no setor sul, pelo contrário, parece ocorrer um comportamento influente da Vala dos Amiais, que desta forma contribuirá para a recarga do aquífero. Assim, as pressões localizadas a montante dos pontos de água analisados, e potenciais responsáveis por este estado, devem ser divididas da seguinte forma (Figura 6-3):

- A sul (responsável pelo estado medíocre devido à presença de arsénio):
 - Lixeira encerrada de Torres Vedras (Resioeste), localizada a sudoeste, deverá ser responsável pela presença de arsénio e cloretos. Importa vir a analisar outros parâmetros, pelos menos relacionados com substâncias prioritárias e outras substâncias associados a este tipo de pressão: benzeno; cádmio, chumbo e mercúrio e outros metais pesados; antraceno, fluoranteno e outros PAH; éter defínílico bromado e DEHP; cianetos, fenóis e compostos orgânicos halogenados.
- A norte (com presença de NH_4^+):
 - Atividade agrícola, responsável pela entrada de 0,09 tonN/km²/ano;
 - Fossas sépticas, nomeadamente em Aldeia Grande e Casais do Seixo.

Para esta massa de águas subterrâneas (MAS) foram identificadas duas massas de águas de superfície (MASup) associadas. O estado químico/ecológico da MASup associada a esta MAS, rio Alcabrichel (PT04RDW1179), foi considerado como inferior a bom relativamente a vários parâmetros, incluindo o azoto amoniacal (NH_4^+). Os valores de azoto amoniacal responsáveis pelo estado inferior a bom da massa de águas superficiais associada, nas duas análises efetuadas, a 29 de Junho de 2010 e a

7 de Outubro de 2010, no ponto de monitorização 19B/50 (Paio Correia), ultrapassam o limiar de qualidade definido para este parâmetro ($0,5 \text{ mgNH}_4/\text{L}$) nas massas de águas subterrâneas, tendo sido as concentrações de aproximadamente 3 mg/L , em ambas. O ponto de monitorização 362/013, localizado relativamente perto de um dos troços da MASup, apresenta valores de azoto amoniacal elevados, ultrapassando o limiar de qualidade ($0,5 \text{ mgNH}_4/\text{L}$) nas duas análises químicas efetuadas. Nos restantes seis pontos com análise química de azoto amoniacal, apenas em dois deles as concentrações foram inferiores ao limite de deteção, apresentando os restantes quatro os seguintes valores médios: 362/006 ($0,10 \text{ mgNH}_4/\text{L}$); 362/130 ($0,37 \text{ mgNH}_4/\text{L}$); 374/129 ($0,13 \text{ mgNH}_4/\text{L}$) e 374/130 ($0,06 \text{ mgNH}_4/\text{L}$). O ponto 362/013 localiza-se num setor do sistema aquífero situado a montante do sentido regional de escoamento da ribeira de Alcabrichel, devendo por consequência admitir-se a possibilidade do azoto amoniacal detetado no curso de água ter origem em transferências oriundas do sistema aquífero.

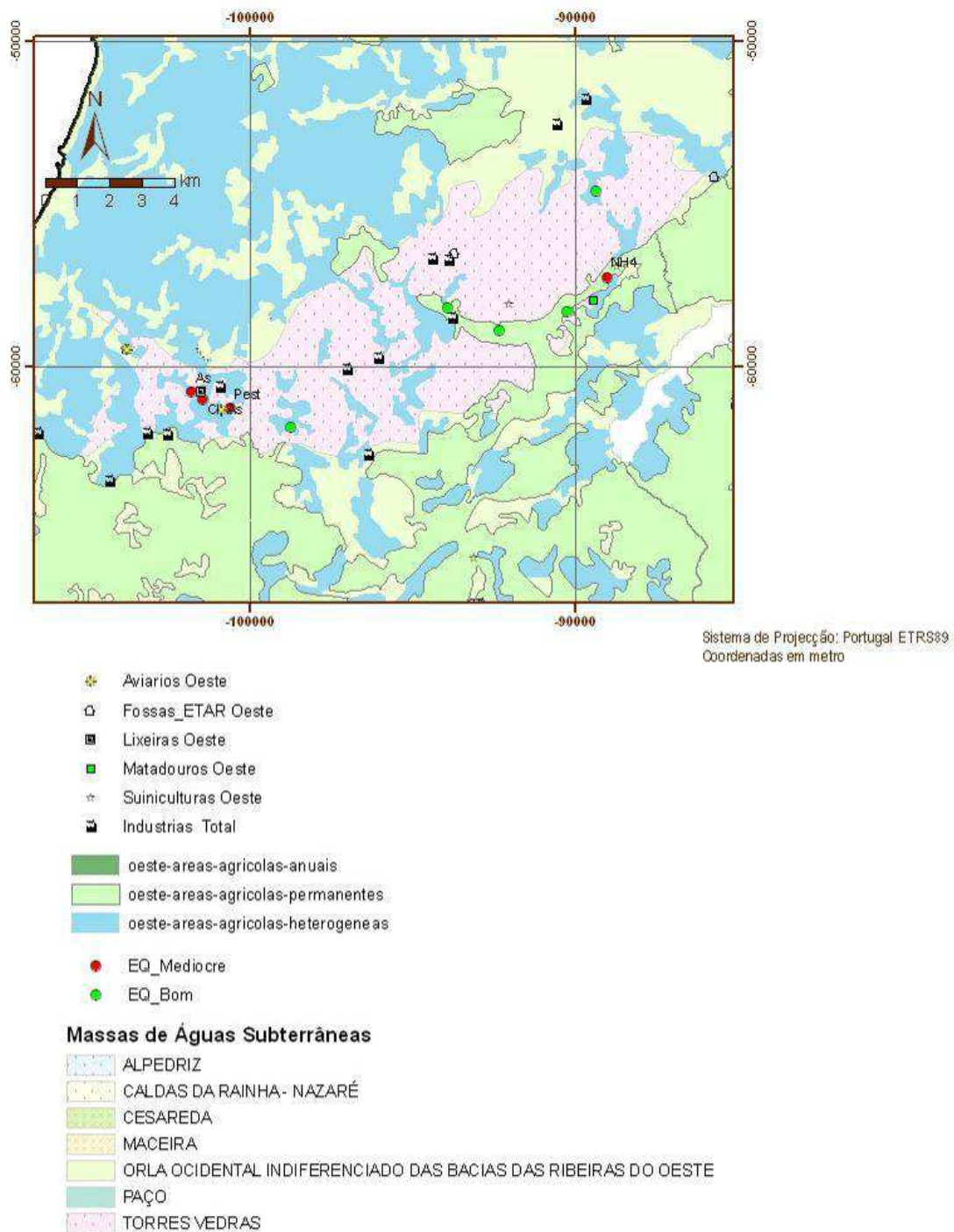


Figura 6-3 – Pressões e estado químico associados à massa de águas subterrâneas de Torres Vedras

O Quadro 6-8 apresenta os resultados do teste de diminuição da qualidade química ou ecológica das massas de águas superficiais para os segmentos das massas de águas superficiais considerados em conexão hidráulica com a massa de águas subterrâneas. O Quadro 6-9 sintetiza a análise realizada incluindo, incluindo, além dos casos em que

o estado químico é medíocre, todos os outros casos em que nalgum ponto se detetou que a média de um elemento ultrapassou a sua norma de qualidade ambiental ou o seu limiar de qualidade. Em qualquer um destes casos indica-se, com base na análise das fontes de poluição tóxica e difusa, as situações existentes que podem pôr em causa o cumprimento dos objetivos ambientais.

Quadro 6-8 – Teste de diminuição da qualidade química ou ecológica das massas de águas superficiais associadas para massa de águas subterrâneas

Massa de águas superficiais	Segmento da massa de águas superficiais associado	Cumprido o <u>critério</u> do Bom Estado das MASup associadas?	Cumprido o <u>critério</u> do limiar ou NQA com risco para MASup?	Cumprido o <u>critério</u> da% de contribuição da carga poluente para a MASup?	Resultado do teste
PT04RDW1179	PTRIVSEG1810	Não: NH ₄ ⁺ (3 mg/L) (19B/50)	Não: NH ₄ ⁺ (362/013)	Sem dados	Sem dados
	PTRIVSEG1812	Não: NH ₄ ⁺ (3 mg/L) (19B/50)	Não: NH ₄ ⁺ (362/013)	Sem dados	Sem dados
PT04RDW1180	PTRIVSEG1814	Sem dados	-	-	Sem dados

- Não aplicável.

Quadro 6-9 - Estado Químico da massa de águas subterrâneas e fontes de poluição tóxica e difusa com impacte

Massa de águas subterrâneas	Cumprido o critério do limiar ou NQA?	Cumprido o critério da % de área?	Cumprido o critério da confiança?	Estado químico	Setores relacionados
O25 Torres Vedras	Não: As, Cl, pesticidas e NH ₄ ⁺	Não: As	Não: As	● Medíocre	Lixeiros encerradas; aterros sanitários; fossas sépticas; ind. transformadora; agro-indústria; pecuária (avicultura); agricultura

Em síntese, as características de qualidade das águas desta massa permitem avaliá-la em **estado químico medíocre**, sendo as lixeiras e a atividade agrícola os fatores que contribuem para este estado. O arsénio foi o responsável pelo estado químico medíocre mas é também de referir a presença de pesticidas, azoto amoniacal e cloretos, assim como uma tendência estatisticamente significativa de subida do NO₃⁻ (cujas concentrações estão ainda muito abaixo do valor limite regulamentar). Esta

tendência estatisticamente significativa de subida dos nitratos deve implicar o acompanhamento da sua evolução

Os objetivos e medidas de base propostos no próximo capítulo visam essencialmente reestabelecer o bom estado de qualidade para o arsénio, visando o cumprimento dos objetivos estratégicos e ambientais. Devem também estas medidas inverter as tendências estatisticamente significativas de subida dos nitratos. Estas medidas deverão igualmente contemplar ações de contenção/reabilitação da área envolvente da lixeira de Torres Vedras, provavelmente responsável pelos valores de As e Cl encontrados nos pontos localizados na vizinhança (374/139 e 374/140), pertencentes à rede de substâncias perigosas. Este aspeto tem especial importância se considerarmos que o escoamento subterrâneo se processa em direção à zona do Paúl (cf. Figura 2-3), podendo as águas subterrâneas ter uma influência negativa naquele local. Para uma análise mais completa da influência da ocupação agrícola do solo, devem ser obtidos dados mais atuais de concentração em pesticidas (os últimos são de 2005).

6.3 TENDÊNCIAS CRESCENTES SIGNIFICATIVAS E PERSISTENTES NA CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES

A síntese da análise é apresentada no Quadro 6-10. Esta massa de águas subterrâneas apresentou um comportamento misto, com descida dos teores de chumbo e subida do oxigénio dissolvido e de nitratos subiam, mas mantendo-se todos os parâmetros muito abaixo dos respetivos limiares regulamentares.

Quadro 6-10 – Análise de tendências

Massa de águas subterrâneas	As	NH ₄ ⁺	Cd	Pb	Cl ⁻	CE	Hg	NO ₃ ⁻	pH	SO ₄ ²⁻	TCE	PCE	Pest. Total
O25 - Torres Vedras	-		•	↓ (0,0067)	•	•	-	↑ (0,0023)	•	•	-	-	-

↓: tendência estatisticamente significativa de descida ($\alpha=0,05$) – entre parênteses é indicado o valor de p; ↑: tendência estatisticamente significativa de subida ($\alpha=0,05$); •: sem tendência estatisticamente significativa de subida ou descida ($\alpha=0,05$); -: dados insuficientes para realizar o teste.

Deste modo esta massa de águas subterrâneas está em risco de incumprimento dos objetivos de qualidade da água definidos na Diretiva-Quadro da Água devido a:

- Estado Químico medíocre para: As
- Tendência de subida de: NO₃⁻

6.4 SÍNTESE

Nos Quadros 6-11 a Quadro 6-19 apresenta-se a síntese do estado das águas subterrâneas, de acordo com os testes cuja metodologia foi descrita no relatório LNEC 290/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). As Figuras 6-4 a 6-5 apresentam uma ilustração global da síntese da avaliação do estado para o estado químico e quantitativo, respetivamente. A situação quanto ao risco passou do representado na Figura 6-6 para a Figura 6-7.

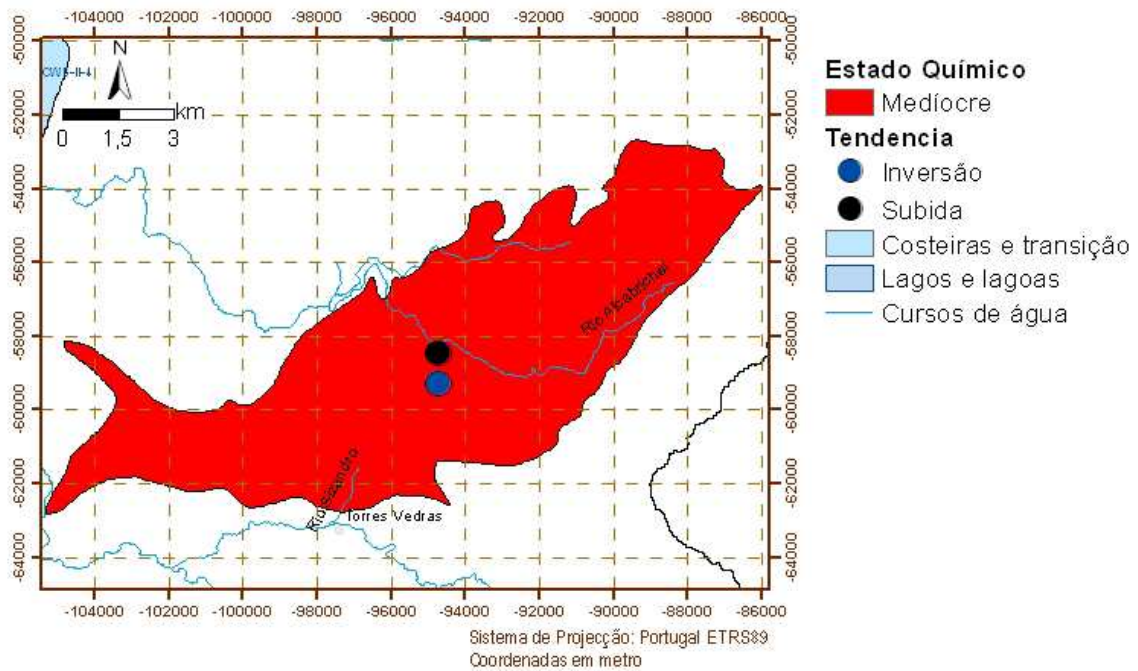


Figura 6-4 – Síntese do Estado Químico geral e das tendências significativas e constantes da massa de águas subterrâneas (bola preta: tendência crescente; bola azul: inversão de tendência)

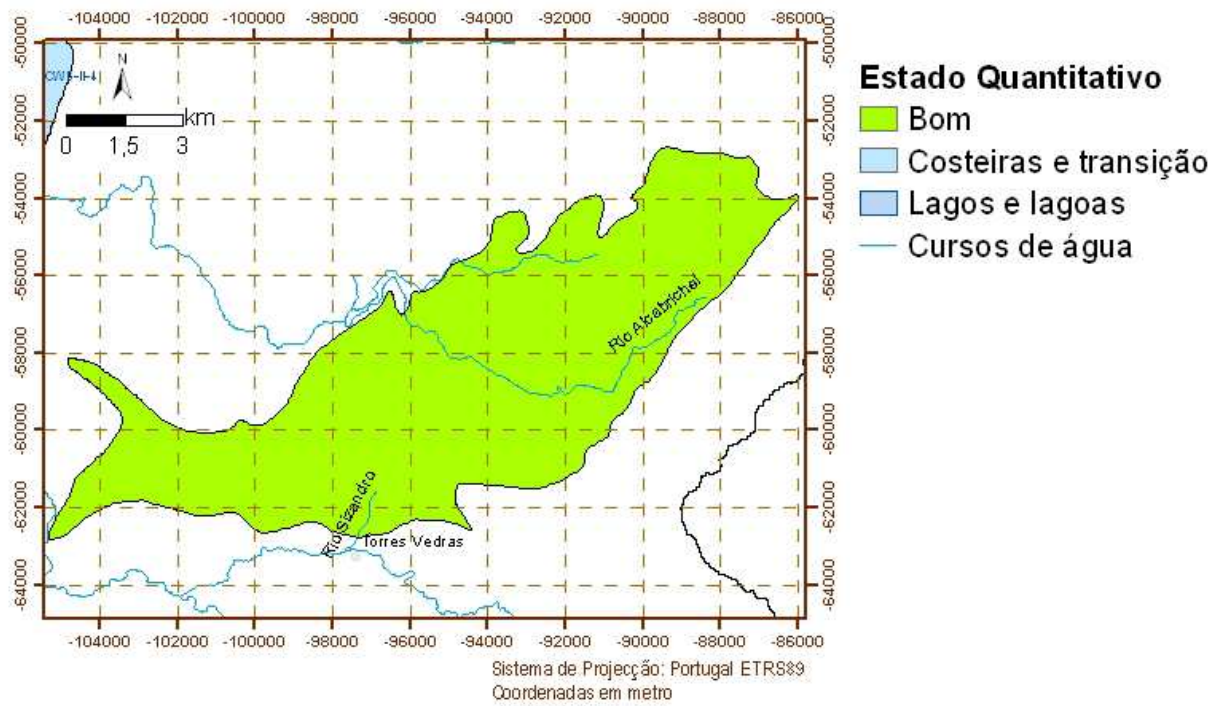


Figura 6-5 – Síntese do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas

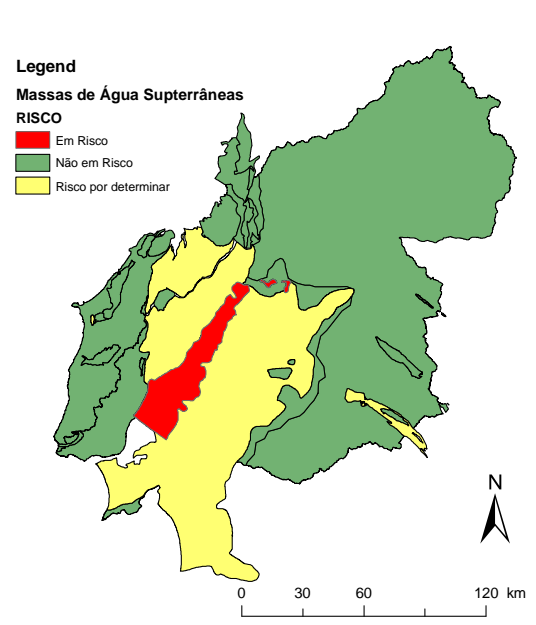


Figura 6-6 – Massas de águas subterrâneas em risco, antes do PBH Oeste

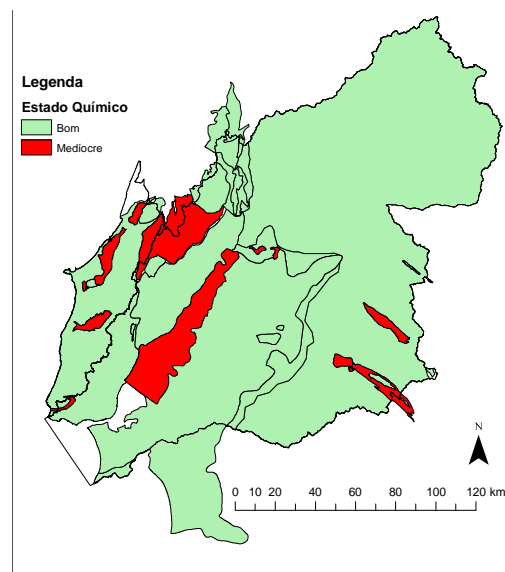


Figura 6-7 – Massas de águas subterrâneas em risco, após do PBH Oeste

Quadro 6-11 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da avaliação global do estado químico

Massa de águas subterrâneas	Cumprido o <u>critério</u> do limiar ou NQA?	Cumprido o <u>critério</u> de 20% de área?	Cumprido o <u>critério</u> da confiança?	Resultado do teste
O25 – Torres Vedras	Não: As, Cl ⁻ , pesticidas e NH ₄ ⁺	Não: As	Não: As	● Medíocre

- Não aplicável.

Quadro 6-12 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da intrusão salina

Massa de águas subterrâneas	Cumprido o <u>critério</u> das pressões quantitativas?	Cumprido o <u>critério</u> do limiar (Cl ⁻ , CE e SO ₄ ²⁻)?	Cumprido o <u>critério</u> das tendências?	Cumprido o <u>critério</u> de ausência de impacte significativo num ponto de extração?	Resultado do teste
O25 – Torres Vedras	Sim	Não: Cl-	Sim	-	● Bom

- Não aplicável.

Quadro 6-13 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da degradação dos ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	ETDAS	Cumprido o <u>critério</u> do Bom Estado dos ETDAS?	Cumprido o <u>critério</u> do limiar ou NQA com potencial dano do ETDAS?	Cumprido o <u>critério</u> dos danos causados no ETDAS?	Resultado do teste
O25 – Torres Vedras	- ¹	-	-	-	-

- Não aplicável. ¹ Para esta massa de águas subterrâneas não foram identificados ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas.

Quadro 6-14 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da diminuição da qualidade química ou ecológica das massas de águas de superfície associadas

Massa de águas subterrâneas	Massa de águas superficiais associada	Segmento da massa de águas superficiais associado	Cumprido o critério do Bom Estado das MASup associadas?	Cumprido o critério do limiar ou NQA com risco para MASup?	Cumprido o critério da % de contribuição da carga poluente para a MASup?	Resultado do teste
O25 – Torres Vedras	PT04RDW1179	PTRIVSEG1810	Não: NH ₄ ⁺ (3 mg/L) (19B/50)	Não: NH ₄ ⁺ (362/013)	Sem dados ⁴	Sem dados
		PTRIVSEG1812	Não: NH ₄ ⁺ (3 mg/L) (19B/50)	Não: NH ₄ ⁺ (362/013)	Sem dados ⁴	Sem dados
	PT04RDW1180	PTRIVSEG1814	Sem dados ²	-	-	Sem dados

- Não aplicável. ⁴ A informação existente sobre as relações "rio-aquífero" entre a massa de águas subterrâneas e a massa de águas superficiais associada não é suficiente para dar uma resposta a este critério.

Quadro 6-15 – Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste do balanço hídrico subterrâneo

Massa de águas subterrâneas	Cumprido o critério de não descida dos níveis piezométricos?	Cumprido o critério da extração anual média < disponibilidade anual média?	Resultado do teste
O25 – Torres Vedras	Não ¹	Sim	● Bom

¹ Apesar deste critério ter sido avaliado negativamente, considera-se que as séries não são suficientemente longas para se poder estabelecer com segurança uma tendência de descida. Por esse motivo aplicou-se também o critério da "extração anual média < disponibilidade anual média". É importante manter a monitorização da massa de águas subterrâneas e se se confirmar a tendência de descida desenvolver medidas.

Quadro 6-16 – Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste da avaliação dos ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	ETDAS	Cumprido o <u>critério</u> do Bom Estado dos ETDAS?	Cumprido o <u>critério</u> das condições ambientais?	Cumprido o <u>critério</u> do afastamento das condições ambientais devido a extrações?	Resultado do teste
O25 – Torres Vedras	- ¹	-	-	-	-

- Não aplicável. ¹ Para esta massa de águas subterrâneas não foram identificados ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas.

Quadro 6-17 – Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste da intrusão salina

Massa de águas subterrâneas	Cumprido o <u>critério</u> das pressões quantitativas?	Cumprido o <u>critério</u> do limiar (Cl ⁻ , CE e SO ₄ ²⁻)?	Cumprido o <u>critério</u> das tendências?	Cumprido o <u>critério</u> de ausência de impacte significativo num ponto de extração?	Resultado do teste
O25 – Torres Vedras	Sim	Não: Cl-	Sim	-	● Bom

- Não aplicável.

Quadro 6-18 – Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste do escoamento superficial

Massa de águas subterrâneas	Massa de águas superficiais	Segmento da massa de águas superficiais associado	Cumprido o <u>critério</u> do Bom Estado das MASup associadas?	Cumprido o <u>critério</u> da causa significativa?	Resultado do teste
O25 – Torres Vedras	PT04RDW1179	PTRIVSEG1810	Sim: elementos hidromorfológicos (HQA)	-	● Bom
		PTRIVSEG1812	Sim: elementos hidromorfológicos (HQA)	-	● Bom
	PT04RDW1180	PTRIVSEG1814	Sem dados ²	-	Sem dados

- Não aplicável. ² Esta massa de água superficial não foi alvo de monitorização pelo que não existem dados disponíveis de avaliação de estado dos elementos hidromorfológicos.

Quadro 6-19 – Síntese dos testes para a avaliação do Estado da massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Estado Químico	Estado Quantitativo	Estado Global
O25 – Torres Vedras	● Mediocre: Teste de avaliação global do estado químico	● Bom	● Mediocre: estado químico

ANEXO 2 – ANÁLISE DA VARIAÇÃO PIEZOMÉTRICA AO LONGO DO TEMPO NOS PONTOS DENTRO DA ÁREA DO SISTEMA AQUÍFERO DE TORRES VEDRAS

Quadro A.1 – Valores de piezometria registados nos pontos de água do sistema aquífero de Torres Vedras

Data	362/86		362/89		362/99		374/11		374/20	
	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)
01-11-2000	-	-	51.37	15.63	-	-	-	-	-	-
30-11-2000	87.35	8.65	-	-	57.83	32.17	14.57	15.43	-	-
01-12-2000	-	-	51.4	15.6	-	-	-	-	-	-
28-12-2000	87.5	8.5	-	-	58.65	31.35	14.77	15.23	35.28	36.72
01-01-2001	-	-	51.61	15.39	-	-	-	-	-	-
23-01-2001	87.77	8.23	-	-	59.95	30.05	14.92	15.08	35.33	36.67
01-02-2001	-	-	51.55	15.45	-	-	-	-	-	-
21-02-2001	88.1	7.9	-	-	59.39	30.61	15.1	14.9	35.37	36.63
01-03-2001	-	-	51.81	15.19	-	-	-	-	-	-
26-03-2001	88.37	7.63	-	-	59.5	30.5	15.59	14.41	35.58	36.42
27-04-2001	88.39	7.61	-	-	60.43	29.57	15.05	14.95	35.55	36.45
31-05-2001	88.53	7.47	-	-	59.84	30.16	16	14	35.7	36.3
26-06-2001	88.32	7.68	-	-	59.3	30.7	16	14	35.72	36.28
24-07-2001	88.39	7.61	-	-	59.15	30.85	16	14	36.9	35.1
27-08-2001	88.38	7.62	-	-	59.4	30.6	16	14	35.93	36.07
26-09-2001	88.21	7.79	-	-	58.85	31.15	15.97	14.03	35.9	36.1
30-10-2001	88.37	7.63	-	-	56.74	33.26	16.2	13.8	39.59	32.41
30-11-2001	88.34	7.66	-	-	59.89	30.11	16.07	13.93	36.04	35.96
28-12-2001	88.3	7.7	-	-	59.9	30.1	16.24	13.76	36.18	35.82
31-01-2002	88.24	7.76	-	-	59.98	30.02	16.26	13.74	36.15	35.85
28-02-2002	88.33	7.67	-	-	-	-	-	-	-	-
01-03-2002	-	-	-	-	60.01	29.99	16.31	13.69	36.4	35.6
02-05-2002	88.22	7.78	-	-	59.84	30.16	16.49	13.51	36.5	35.5
02-08-2002	87.48	8.52	-	-	57.3	32.7	16.46	13.54	36.58	35.42
30-08-2002	87.56	8.44	-	-	58.26	31.74	16.46	13.54	36.57	35.43
30-09-2002	87.52	8.48	-	-	58.71	31.29	16.53	13.47	36.6	35.4
29-11-2002	87.51	8.49	-	-	59.2	30.8	16.73	13.27	36.58	35.42
06-01-2003	87.95	8.05	-	-	59.35	30.65	16.87	13.13	36.88	35.12
13-02-2003	88.09	7.91	-	-	59.31	30.69	17.15	12.85	36.94	35.06
03-03-2003	88.12	7.88	-	-	59.86	30.14	17.27	12.73	36.89	35.11
29-04-2003	88.36	7.64	-	-	60.89	29.11	17.62	12.38	37.17	34.83
31-07-2003	87.5	8.5	-	-	57.94	32.06	16.75	13.25	36.54	35.46
01-10-2003	88.1	7.9	-	-	59.5	30.5	17.72	12.28	37.46	34.54
30-10-2003	87.98	8.02	-	-	59.52	30.48	17.87	12.13	37.35	34.65
28-11-2003	87.98	8.02	-	-	-	-	17.97	12.03	37.32	34.68
22-12-2003	88.21	7.79	-	-	60.57	29.43	18.1	11.9	37.37	34.63
28-01-2004	88.39	7.61	-	-	-	-	-	-	-	-
30-01-2004	-	-	-	-	60.71	29.29	18.23	11.77	37.62	34.38
26-02-2004	88.51	7.49	-	-	-	-	-	-	-	-
27-02-2004	-	-	-	-	60.51	29.49	18.42	11.58	37.68	34.32
30-03-2004	88.52	7.48	-	-	60.56	29.44	18.54	11.46	37.78	34.22
30-04-2004	88.52	7.48	-	-	58.58	31.42	18.68	11.32	37.96	34.04
28-05-2004	88.36	7.64	-	-	58.23	31.77	18.67	11.33	37.73	34.27
02-07-2004	-	-	-	-	-	-	-	-	37.81	34.19

Data	362/86		362/89		362/99		374/11		374/20	
	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)
28-07-2004	87.99	8.01	-	-	58.57	31.43	18.55	11.45	37.81	34.19
01-09-2004	87.96	8.04	-	-	57.26	32.74	18.52	11.48	37.75	34.25
30-09-2004	87.88	8.12	-	-	57.01	32.99	18.49	11.51	37.7	34.3
28-10-2004	87.9	8.1	-	-	58.4	31.6	18.48	11.52	37.87	34.13
30-11-2004	87.92	8.08	-	-	58.99	31.01	18.55	11.45	37.93	34.07
29-12-2004	87.73	8.27	-	-	58.98	31.02	18.67	11.33	37.75	34.25
28-01-2005	87.69	8.31	-	-	58.9	31.1	18.6	11.4	37.89	34.11
28-02-2005	87.6	8.4	-	-	60.2	29.8	16.61	13.39	36.02	35.98
31-03-2005	87.62	8.38	-	-	58.43	31.57	-	-	38.11	33.89
01-04-2005	-	-	-	-	-	-	16.63	13.37	-	-
28-04-2005	87.41	8.59	-	-	57.57	32.43	18.58	11.42	38.17	33.83
01-06-2005	-	-	-	-	57.08	32.92	18.58	11.42	36.26	35.74
06-06-2005	87.22	8.78	-	-	-	-	-	-	-	-
29-07-2005	86.73	9.27	-	-	56.69	33.31	18.56	11.44	38.47	33.53
29-08-2005	86.88	9.12	-	-	55.28	34.72	18.46	11.54	38.56	33.44
31-10-2005	86.72	9.28	-	-	57.11	32.89	18.51	11.49	38.68	33.32
29-11-2005	86.76	9.24	-	-	57.52	32.48	18.6	11.4	38.89	33.11
30-01-2006	86.7	9.3	-	-	57.14	32.86	18.97	11.03	38.97	33.03
27-02-2006	86.65	9.35	-	-	57.67	32.33	19.05	10.95	39.12	32.88
31-03-2006	86.85	9.15	-	-	57.12	32.88	19.19	10.81	39.11	32.89
28-04-2006	86.89	9.11	-	-	56.62	33.38	19.26	10.74	39.19	32.81
29-05-2006	86.7	9.3	-	-	57.2	32.8	21.62	8.38	38.16	33.84
29-06-2006	84.96	11.04	-	-	55.52	34.48	19.52	10.48	39.18	32.82
31-07-2006	86.41	9.59	-	-	54.88	35.12	19.46	10.54	39.16	32.84
29-08-2006	86.33	9.67	-	-	53.52	36.48	19.45	10.55	39.19	32.81
30-09-2006	86.37	9.63	-	-	47.22	42.78	19.44	10.56	39.14	32.86
30-10-2006	86.39	9.61	-	-	55.42	34.58	19.5	10.5	39.3	32.7
30-11-2006	86.52	9.48	-	-	56.61	33.39	19.68	10.32	39.28	32.72
29-01-2007	86.79	9.21	-	-	57.49	32.51	19.88	10.12	39.54	32.46
27-02-2007	86.88	9.12	-	-	57.78	32.22	20.07	9.93	39.42	32.58
30-03-2007	-	-	-	-	57.09	32.91	20.15	9.85	39.51	32.49
29-05-2007	87.03	8.97	-	-	55.7	34.3	20.24	9.76	39.58	32.42
26-06-2007	87	9	-	-	55.58	34.42	20.12	9.88	39.54	32.46
03-08-2007	86.69	9.31	-	-	53.74	36.26	20.55	9.45	39.66	32.34
31-08-2007	86.78	9.22	-	-	53.39	36.61	20.53	9.47	39.63	32.37
28-09-2007	86.82	9.18	-	-	54.14	35.86	20.55	9.45	39.72	32.28
29-11-2007	86.68	9.32	-	-	51.12	38.88	-	-	39.8	32.2
31-01-2008	86.63	9.37	-	-	56.23	33.77	20.66	9.34	39.92	32.08
29-02-2008	86.56	9.44	-	-	55.86	34.14	20.69	9.31	40	32
31-03-2008	86.48	9.52	-	-	55.8	34.2	20.82	9.18	40.05	31.95
30-04-2008	86.6	9.4	-	-	55.3	34.7	20.9	9.1	40.21	31.79
30-05-2008	86.54	9.46	-	-	54.77	35.23	21.02	8.98	40.26	31.74
30-06-2008	86.26	9.74	-	-	52.59	37.41	21.05	8.95	40.15	31.85
31-07-2008	86.03	9.97	-	-	52.35	37.65	21.01	8.99	39.91	32.09
25-08-2008	86.12	9.88	-	-	52.44	37.56	20.94	9.06	39.68	32.32
30-01-2009	86.18	9.82	-	-	55.06	34.94	21.13	8.87	39.33	32.67
02-03-2009	86.23	9.77	-	-	54.84	35.16	-	-	-	-
03-03-2009	-	-	-	-	-	-	21.05	8.95	38.85	33.15
31-03-2009	86.25	9.75	-	-	53.5	36.5	21.4	8.6	38.9	33.1
30-04-2009	86.26	9.74	-	-	53.95	36.05	21.55	8.45	38.6	33.4
29-05-2009	86.19	9.81	-	-	53.61	36.39	21.53	8.47	38.71	33.29
30-06-2009	-	-	-	-	51.7	38.3	21.6	8.4	38.05	33.95

Data	362/86		362/89		362/99		374/11		374/20	
	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)	NP (m)	PNA (m)
31-07-2009	84.64	11.36	-	-	52.26	37.74	21.58	8.42	38.07	33.93
30-09-2009	85.71	10.29	-	-	52.17	37.83	21.54	8.46	37.54	34.46
30-10-2009	85.63	10.37	-	-	52.4	37.6	22.31	7.69	37.49	34.51
27-11-2009	85.67	10.33	-	-	53.95	36.05	21.6	8.4	37.65	34.35
29-01-2010	85.97	10.03	-	-	54.99	35.01	21.8	8.2	38.01	33.99
26-02-2010	86.09	9.91	-	-	55.69	34.31	21.99	8.01	38.05	33.95
31-03-2010	86.11	9.89	-	-	55.45	34.55	22.2	7.8	38.19	33.81
30-04-2010	86.55	9.45	-	-	55.97	34.03	22.4	7.6	38.35	33.65
28-05-2010	86.68	9.32	-	-	54.88	35.12	22.58	7.42	38.27	33.73
30-06-2010	86.4	9.6	-	-	52.65	37.35	22.66	7.34	38.11	33.89
30-07-2010	86.32	9.68	-	-	52.58	37.42	22.64	7.36	38.11	33.89
31-08-2010	86.54	9.46	-	-	52.55	37.45	22.7	7.3	37.96	34.04
30-09-2010	86.58	9.42	-	-	53.95	36.05	22.76	7.24	37.59	34.41
29-10-2010	86.6	9.4	-	-	55.05	34.95	22.75	7.25	37.75	34.25
31-10-2010	86.84	9.16	-	-	57.02	32.98	22.94	7.06	37.95	34.05
30-11-2010	86.8	9.2	-	-	56.18	33.82	22.78	7.22	37.96	34.04
28-01-2011	87.14	8.86	-	-	57.55	32.45	23.02	6.98	38.2	33.8
28-02-2011	87.24	8.76	-	-	58	32	23.2	6.8	38.2	33.8
31-03-2011	87.33	8.67	-	-	57.6	32.4	23.36	6.64	38.19	33.81
29-04-2011	87.48	8.52	-	-	57	33	23.5	6.5	38.54	33.46
01-06-2011	87.34	8.66	-	-	54.99	35.01	21.67	8.33	38.49	33.51
30-06-2011	86.89	9.11	-	-	53.25	36.75	23.7	6.3	38.6	33.4
01-08-2011	86.76	9.24	-	-	54.32	35.68	23.72	6.28	38.78	33.22
31-08-2011	87.08	8.92	-	-	54.4	35.6	23.7	6.3	38.53	33.47
30-09-2011	87	9	-	-	50.65	39.35	23.7	6.3	38.53	33.47
31-10-2011	86.93	9.07	-	-	55.79	34.21	23.7	6.3	38.51	33.49
30-11-2011	87.05	8.95	-	-	57.43	32.57	23.72	6.28	38.52	33.48
30-12-2011	87.1	8.9	-	-	54.58	35.42	23.64	6.36	38.66	33.34
03-02-2012	87.08	8.92	-	-	57.43	32.57	23.96	6.04	38.89	33.11
29-02-2012	87.06	8.94	-	-	56.7	33.3	24.04	5.96	39.06	32.94
30-03-2012	86.98	9.02	-	-	54.55	35.45	24.08	5.92	39.2	32.8
02-05-2012	86.95	9.05	-	-	55.47	34.53	24.14	5.86	39.19	32.81
31-05-2012	86.82	9.18	-	-	54.22	35.78	-	-	39.23	32.77
Média	87.16	8.84	51.55	15.45	56.55	33.45	19.69	10.31	38.09	33.91
Máximo	88.53	11.36	51.81	15.63	60.89	42.78	24.14	15.43	40.26	36.72
Mínimo	84.64	7.47	51.37	15.19	47.22	29.11	14.57	5.86	35.28	31.74
Diferença (max - min)	3.89	3.89	0.44	0.44	13.67	13.67	9.57	9.57	4.98	4.98

NP - Nível piezométrico; PNA - Profundidade do nível da água;

