

A ÁGUA SUBTERRÂNEA NOS ACTUAIS PLANOS HIDROLÓGICOS DE BACIA METODOLOGIAS INOVADORAS, DIAGNÓSTICO, OBJECTIVOS E MEDIDAS DOS PLANOS DE GESTÃO DE REGIÕES HIDROGRÁFICAS PORTUGUESAS, COM ESPECIAL REALCE PARA O PGRH TEJO E O PBH OESTE

João Paulo LOBO FERREIRA

Doutor em Engenharia Civil, Investigador-Coordenador e Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, lferreira@lnecc.pt

Teresa E. LEITÃO

Doutora em Hidrogeologia, Investigadora Principal com Habilitação, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101 P-1700-066 Lisboa, tleitao@lnecc.pt

Manuel MENDES OLIVEIRA

Doutor em Hidrogeologia, Investigador Auxiliar do Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, +351 21 844 34 36, moliveira@lnecc.pt.

RESUMO

Abordam-se aspectos específicos relativos às águas subterrâneas nos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) de Portugal, em finalização em 2011. A consulta pública está prevista para Julho de 2011 (ARH Tejo (Tejo e Rib. Oeste)) e ARH Alentejo (Gadiana, Sado e Mira) e Setembro de 2011 (ARH Norte, ARH Centro e ARH Algarve). Nesta comunicação seleccionaram-se algumas metodologias aplicadas nos PGRH, e exemplifica-se para o PGRH Tejo o diagnóstico, objectivos e medidas. Apresenta-se um método de avaliação das grandes variações esperadas para a recarga de aquíferos em 2071-2101 com base nos valores esperados de aumento da temperatura e diminuição da precipitação no sistema aquífero de Torres Vedra (PBH Oeste). Apresenta-se o desenvolvimento de diversos projectos laterais aos PGRH, nomeadamente os em desenvolvimento pelo LNEC para as ARH Norte e Centro, sobre modelos de dados.

Palavras-chave: *Águas subterrâneas, planos de gestão de recursos hídricos, recarga de aquíferos, modelos de dados, alterações climáticas*

INTRODUÇÃO

Enquadramento Legislativo

A Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000 (2000/60/CE), mais conhecida por Directiva-Quadro da Água (DQA), entrou em vigor em 22 de Dezembro de 2000, tendo sido transposta para o Direito Português pela Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro - Lei da Água. A Lei da Água e a Directiva-Quadro da Água visam proteger as águas superficiais interiores, as águas de transição, as águas costeiras e as águas subterrâneas, atingindo determinados objectivos ambientais através da execução de programas de medidas especificados em Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH).

A Lei da Água Portuguesa, Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, define no art.º 1.º os seus objectivos globais, destacando-se no art.º 47.º aqueles com relevância para as águas subterrâneas. Os Planos deverão estabelecer os objectivos que devem ser alcançados até 2015. Estes deverão ser estabelecidos considerando, entre outros aspectos, a avaliação do estado químico e do estado quantitativo das massas de águas subterrâneas.

As medidas de base compreendem as medidas, os projectos e as acções necessários para conduzir um programa de requisitos mínimos do cumprimento dos objectivos ambientais previstos na legislação em vigor, tal como vem referido no n.º 3 do artigo 30.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, e n.º 1 do artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março (cf. n.º 34, Parte 6, Vol. I, Portaria n.º 1284/2009).

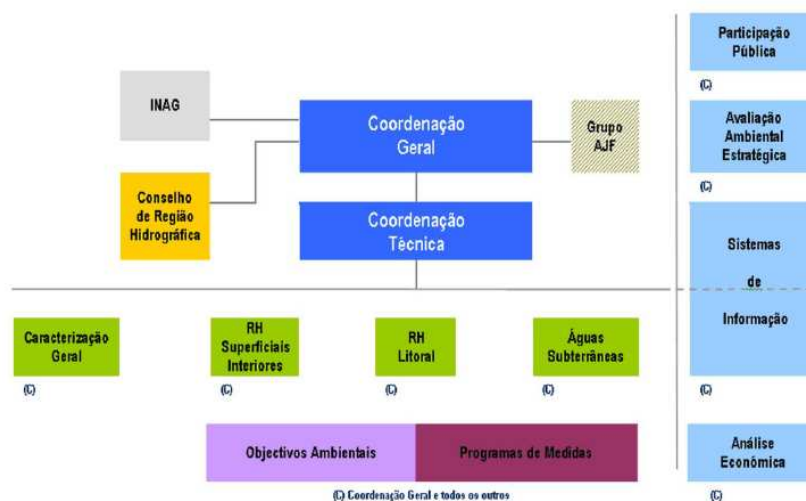
As medidas suplementares visam garantir uma maior protecção ou uma melhoria adicional das águas sempre que tal seja necessário, nomeadamente para o cumprimento de acordos internacionais e englobam as medidas, os projectos e as acções previstas no n.º 6 do artigo 30.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, e o n.º 2 do artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março (cf. n.º 35, Parte 6, Vol. I, Portaria n.º 1284/2009).

As medidas adicionais são aplicadas às massas de água em que não é provável que sejam alcançados os objectivos ambientais.

Estrutura Organizativa

Para o desenvolvimento do processo de elaboração do PGRH Tejo e do PBH Oeste, a ARH Tejo estabeleceu uma estrutura organizativa baseada em áreas temáticas e áreas horizontais que se sintetizam na Figura 1.

Estrutura organizativa do processo de elaboração dos planos



ARH
TEJO

Figura 1 – Estrutura organizativa do processo de elaboração dos planos (Fonte: Simone Pio: Sessão técnica “Os Desafios da Gestão da Água”. Santarém, 2009)

O PGRH Tejo foi desenvolvido de acordo com o estabelecido nas Especificações Técnicas do Caderno de Encargos, o qual refere que a estrutura do Relatório do PGBH compreende as Partes 1 a 7 e as Partes Complementares A e B, a saber:

- Parte 1 – Enquadramento e Aspectos gerais
- Parte 2 – Caracterização da Região Hidrográfica
- Parte 3 – Síntese da Caracterização e Diagnóstico da Região Hidrográfica
- Parte 4 – Cenários Prospectivos
- Parte 5 – Objectivos
- Parte 6 – Programa de Medidas e de Investimentos
- Parte 7 – Sistema de Promoção, de Acompanhamento, e Avaliação
- Parte Complementar A - Avaliação Ambiental Estratégica
- Parte Complementar B - Participação Pública

Na Parte 1 define-se o enquadramento legal e institucional do processo de planeamento. Esta parte permitirá, também, identificar e caracterizar os objectivos do Plano, assim como os princípios de planeamento e de gestão dos recursos hídricos.

Na Parte 2 elabora-se a caracterização da região hidrográfica, a qual constitui um processo dinâmico e organizado em conteúdos técnicos, ao serviço das restantes partes, e sistematiza nele as problemáticas mais relevantes, permitindo obter um diagnóstico da situação actual.

Na Parte 3 procede-se à síntese da caracterização e diagnóstico para as sete áreas temáticas discriminadas seguidamente, relativamente às quais se apresentarão as sínteses da caracterização, do cumprimento das disposições legais em vigor relativas à água, aos solos e às actividades com efeitos directos e indirectos mensuráveis nos recursos hídricos procedendo-se, posteriormente, aos correspondentes diagnósticos:

- Área temática 1 – Qualidade da Água
- Área temática 2 – Quantidade de Água
- Área temática 3 – Gestão de Riscos e Valorização do Domínio Hídrico
- Área temática 4 – Quadro Institucional e Normativo
- Área temática 5 – Quadro Económico e Financeiro
- Área temática 6 – Monitorização, Investigação e Conhecimento
- Área temática 7 – Comunicação e Governança

A Parte 4 contempla o desenvolvimento de cenários prospectivos que sustentam a identificação e análise das tendências de evolução socioeconómica que influenciam as pressões e os impactes gerados pelas utilizações da água.

A Parte 5 estabelece os objectivos estratégicos, ambientais e outros para a região hidrográfica e para as massas de água, identificando as que se encontram em risco de não alcançar as metas, sendo analisados os casos em que se pondera encarar prorrogações de prazo e derrogações.

A Parte 6 apresenta o programa de medidas (de base, suplementares e adicionais) que identifica e caracteriza material, financeira e operacionalmente o plano de medidas para a concretização dos objectivos definidos, e estabelece as prioridades de implementação das mesmas e, por último, define a programação financeira.

Finalmente, na Parte 7 define-se o sistema de promoção acompanhamento, controlo e avaliação, envolvendo uma estrutura de coordenação e acompanhamento e um sistema organizacional que garanta a concretização, coerência e a consistência da aplicação dos programas de medidas, bem como a sua aplicação coordenada com os restantes planos e programas sectoriais, especiais ou específicos e que contemplem os âmbitos nacional, luso-espanhol e europeu.

A metodologia de elaboração do PGRH Tejo foi apresentada pelo Consórcio que desenvolveu a componente Águas Subterrâneas (Lote 2) formado pela Hidroprojecto, LNEC e

ICCE à ARH Tejo em Relatório datado de Julho de 2010.

LINHAS DE FORÇA PARA ELABORAÇÃO DOS PGRH

Desenvolvimento em ambiente SIG

O Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que integram a Região Hidrográfica do Tejo e Plano da Bacia Hidrográfica das ribeiras do Oeste foi desenvolvido, desde o início, em ambiente SIG.

A característica de espacialização de informação do SIG torna este subsistema como uma componente transversal do Plano, abarcando a informação existente na ARH do Tejo e das ribeiras do Oeste, bem com a informação a produzir, no âmbito do Plano, relativamente a todos os conteúdos que geram informação geo-referenciável ao território.

Esta dimensão transversal do SIG, que lhe advém da base comum de representação do território (a cartografia digital), da necessidade de harmonização das formas de representação e de codificação das entidades cartografadas, será um garante da coerência e consistência da informação utilizada e produzida, e uma poderosa ferramenta de análise e apresentação do Plano.

Em paralelo o LNEC desenvolveu para a Administração da Região Hidrográfica do Centro I.P. (ARH do Centro), uma análise relativa aos sistemas aquíferos abrangidos pelas áreas geográficas das bacias hidrográficas dos Rios Mondego, Vouga e Lis.

Os sistemas de informação foram identificados pela ARH do Centro I.P. como uma ferramenta de gestão dos recursos hídricos eficaz e eficiente, podendo contribuir para o cumprimento das metas a serem fixadas por estes PGRH. Neste contexto, a ARH do Centro convidou o LNEC a realizar um estudo destinado à concepção e desenvolvimento da especificação de informação geográfica de suporte ao planeamento e gestão de recursos hídricos, à elaboração de cartas de zonas inundáveis fluviais e estuarinas e à caracterização e modelação dos aspectos quantitativos e qualitativos das massas de águas subterrâneas, aplicáveis às regiões hidrográficas sob jurisdição da ARH do Centro. Este estudo foi objecto de contrato entre as duas entidades, datado de 28 de Setembro de 2010.

Este projecto foi estruturado em quatro componentes. O objectivo da componente 4 é a modelação qualitativa e quantitativa em aquíferos, que inclui a caracterização hidrogeológica da zona de jurisdição da ARH Centro, a caracterização das vulnerabilidades à poluição e à intrusão marinha, bem como a modelação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas.

Esta componente foi dividida nas seguintes tarefas:

- Tarefa 4.1. – Modelação da recarga dos sistemas aquíferos;
- Tarefa 4.2. – Caracterização da vulnerabilidade à poluição;
- Tarefa 4.3. – Caracterização da vulnerabilidade à intrusão marinha;
- Tarefa 4.4. – Modelação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas;
- Tarefa 4.5. – Modelação matemática nos sistemas aquíferos de porosidade intergranular do Quaternário de Aveiro e de Leirosa – Monte Real.

Relevo para os Ecossistemas Dependentes Das Águas Subterrâneas (EDAS)

Monteiro *et al.* (2011) apresentaram três metodologias aplicadas para identificação dos EDAS nas Regiões Hidrográficas 6 (Sado e Mira) e 7 (Bacia do Guadiana) em Portugal: (1)

Estabelecimento de um critério cartográfico, através do qual se tentou obter uma imagem regional dos troços dos cursos de água para os quais seria mais previsível verificarem-se condições de conexão hidráulica com as massas de água subterrânea subjacentes; (2) uma análise casuística dos modelos conceptuais de escoamento de sistemas aquíferos com áreas de percolação ascendente associadas a ecossistemas aquáticos (lagoas e cursos de água) ou ecossistemas terrestres dependentes (áreas ripícolas e zonas de descarga difusa) e (3) lagoas temporárias cuja existência se deve a condições hidrogeológicas locais que suportam ecossistemas com características específicas. Pretendeu-se, com o artigo, constituir um ponto de partida para se discutirem critérios de identificação dos EDAS na área em estudo à escala regional.

Na Figura 2 exemplifica-se a identificação de ecossistemas dependentes das águas subterrâneas associados à massa de água subterrânea de Viana – Alvito.

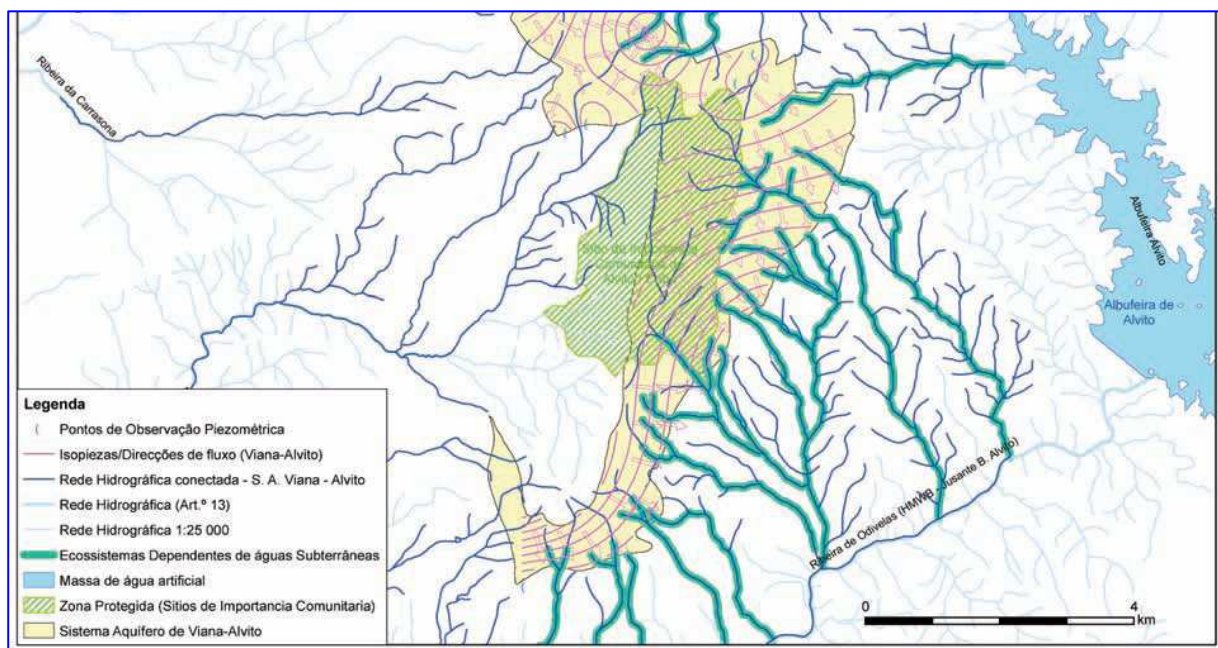


Figura 2 - Identificação de Ecossistemas dependentes das águas subterrâneas associados à massa de água subterrânea de Viana – Alvito (Fonte: Monteiro *et al.*, 2011).

Salvador *et al.* (2011) apresentam o tema identificação de lagoas temporárias mediterrânicas em Portugal uma contribuição para a caracterização dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas na Península Ibérica. Referem que a Directiva Habitats (Directiva 92/43/CEE) classifica as lagoas temporárias mediterrânicas (também designadas charcos temporários) como um habitat prioritário. O cruzamento da distribuição geográfica destes charcos com as propriedades dos ambientes hidrogeológicos onde ocorrem mostra que estes são ecossistemas dependentes de águas subterrâneas, pois o seu hidroperíodo é, regra geral, superior ao que corresponderia à simples acumulação de água da chuva em depressões de terrenos pouco permeáveis. Desta forma, considera-se que as lagoas temporárias se incluem na categoria de zonas protegidas identificadas no Anexo IV da Directiva Quadro da Água (Directiva 2000/60/CE). Através das fontes de informação referenciadas na presente comunicação foi possível identificar cerca de 400 lagoas, a partir das quais foi possível realizar uma análise preliminar de contexto hidrogeológico que se apresenta e discute recorrendo a alguns exemplos.

Na região do PGRH Tejo foram identificados como ecossistemas dependentes das águas

subterrâneas (EDAS) as massas de águas superficiais associadas a massas de águas subterrâneas e os ecossistemas terrestres associados (zonas ripícolas) e foram identificados como ecossistemas terrestres dependentes de águas subterrâneas (ETDAS) as zonas húmidas resultantes da percolação ascendente difusa de água subterrânea (charcos temporários mediterrânicos). Os EDAS identificados por Lobo-Ferreira *et al.* (2011a) encontram-se representados na Figura 3.

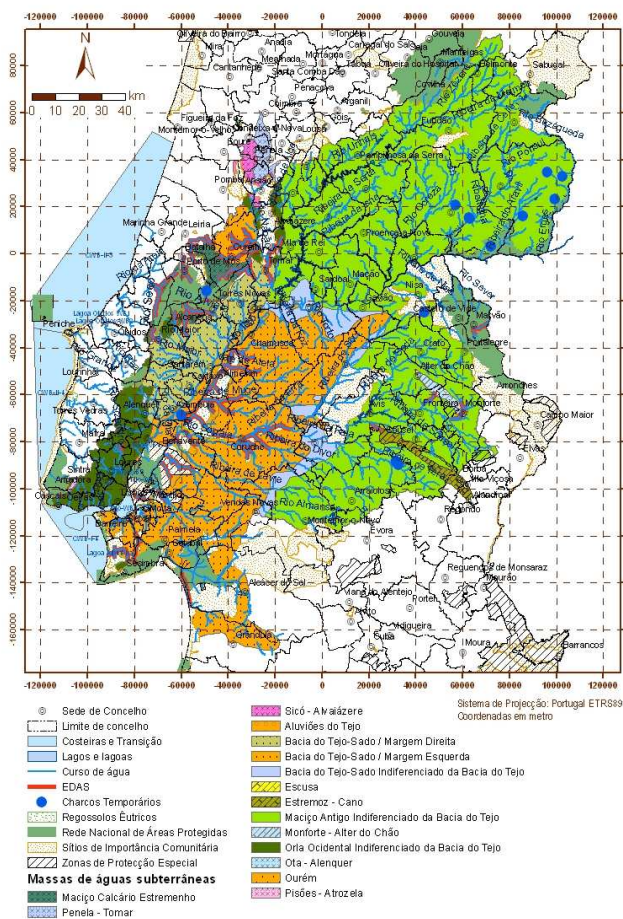


Figura 3 - Ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (EDAS), representados nas coberturas cartográficas empregues para a elaboração do presente PGBH (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

Relevo para a monitorização e para novas campanhas de recolhas de amostras de água

No que respeita à monitorização, e de acordo com o previsto no Programa de Trabalhos para a ARH Tejo, foi programada a realização das campanhas de recolhas de amostras de água e respectivas análises químicas após a selecção proposta pela ARH, tendo-se incluído as análises biológicas. A primeira campanha, composta por 270 pontos da rede base e 34 pontos da rede SP (substâncias perigosas), iniciou-se pela recolha da amostragem em Junho de 2010 e terminou em Agosto de 2010 (época seca). Por proposta do Consórcio a 2.ª campanha foi realizada em Fevereiro de 2011 (época húmida).

Caracterização da Região Hidrográfica por massas de águas subterrâneas

Exemplificando para o PGRH Tejo, a área do Plano de Gestão da Região Hidrográfica (PGRH) do Tejo abrange três unidades hidrogeológicas, que coincidem com as três unidades

estruturais: Maciço Antigo, Orla Ocidental, e Bacia do Tejo-Sado. Ao todo foram considerados por Lobo-Ferreira *et al.* (2011a) quinze massas (Figura 4).

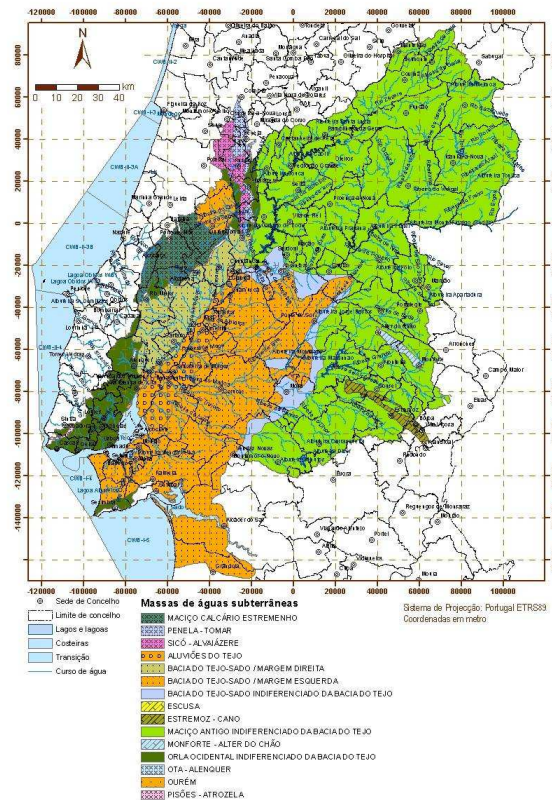


Figura 4 – Massas de água subterrânea do Plano de Gestão de Região Hidrográfica do Tejo (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

Das quinze massas de água listadas (Figura 4), doze haviam sido identificadas como sistemas aquíferos em Almeida *et al.* (2000). As três massas de água que não foram identificadas como sistemas aquíferos foram “Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Tejo”, “Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo”, e “Bacia do Tejo-Sado Indiferenciado da Bacia do Tejo”. Estas três massas de água agregam todas as formações geológicas que não foram consideradas como sistemas aquíferos, respectivamente nas unidades hidrogeológicas do Maciço Antigo, da Orla Ocidental e da Bacia do Tejo-Sado.

METODOLOGIAS ESPECÍFICAS

Recarga de aquíferos

A recarga de águas subterrâneas foi calculada através do modelo matemático BALSEQ_MOD (Oliveira, 2004, 2006), que modela de uma forma sequencial diária a precipitação, a infiltração no solo, o aumento do armazenamento no solo devido a essa infiltração, o escoamento directo que se produz por a capacidade de infiltração do solo ser inferior à precipitação, a evapotranspiração da água do solo e a água que se infiltra abaixo da base do solo (infiltração profunda) quando o teor de humidade do solo é superior ao valor da sua capacidade de campo e a água drena por acção da gravidade. A água de infiltração profunda é utilizada como um estimador da recarga da zona saturada mais próxima da superfície. O modelo BALSEQ_MOD tem como antecedentes o modelo BALSEQ

desenvolvido por Lobo Ferreira (1981, 1982) para a estimativa da recarga de águas subterrâneas na ilha de Porto Santo, localizada no arquipélago da Madeira.

Foi desenvolvido para a Administração de Região Hidrográfica do Centro o cálculo da recarga de águas subterrâneas por infiltração da água da chuva nas áreas correspondentes aos aquíferos dessa região, através do modelo do balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD. Foi concluído em Junho de 2011 o 1º relatório da Componente 4, contendo a determinação da recarga de águas subterrâneas dos aquíferos da Região Hidrográfica do Centro (cf. Martins *et al.*, 2011).

O método utilizado na determinação da recarga incorpora vários factores, nomeadamente a precipitação diária, a evapotranspiração de referência mensal (ET_o), tipo e características dos solos aflorantes e tipo de coberto vegetal e ocupação de solo.

Para a corrida do modelo criaram-se séries de precipitação diária para cada massa de água, que variam entre os 30 e 31 anos, a partir dos registos das estações udométricas existentes na região de estudo, colmatando as lacunas de dados através de métodos estatísticos. Foram também calculadas séries de evapotranspiração de referência, velocidade do vento e humidade mínima relativa para o mesmo período da série de precipitação diária.

Os tipos de solos existentes em cada aquífero foram deduzidos a partir das formações geológicas aflorantes, tendo por base cartografia geológica a várias escalas. A cada tipo de solo foram atribuídos parâmetros característicos, como condutividade hidráulica, capacidade de campo, porosidade, etc., sendo esta informação sobreposta à ocupação do solo.

Estes dados de ocupação de solo procuram descrever o tipo de cultura existente sendo-lhe atribuídos um conjunto de parâmetros culturais característicos. A ocupação do solo tem por base a cartografia CORINE para a região de Portugal continental, tendo sido utilizadas também fotografia aérea.

Os dados de saída resultantes da corrida do modelo incluem valores médios anuais de precipitação, evapotranspiração real, escoamento directo e recarga para a série temporal de entrada.

Esta mesma metodologia foi seguida para os estudos do PGRH Tejo e PBH Oeste.

Com base nas análises de possíveis alterações climáticas para Portugal, correu-se o modelo BALSEQ_MOD para situações esperadas de variação da precipitação e de subida de temperatura para o período 2071-2101. Esta análise foi feita também para a situação actual (Figura 5) e para 2050. Nas Figuras 6, 7 e 8 exemplifica-se a metodologia referida para o sistema aquífero de Torres Vedras, que está a ser modelado para o PBH Oeste. Procedeu-se à análise da variação da precipitação média considerando dois cenários distintos: um que aplica o factor correctivo a todos os dados de uma série actual de 30 anos (1979-2009, cf. Figura 6), e outro que retira o mesmo volume de precipitação apenas às precipitações mínimas da série, de acordo com a metodologia apresentada por Oliveira e Lobo-Ferreira (2007). É impressionante a redução potencial esperada de recarga de aquíferos que se pode observar nas Figura 7 e Figura 8.

Índice de Facilidade de Infiltração

O índice de facilidade de infiltração, desenvolvido por Oliveira e Lobo Ferreira (2002) requer a caracterização de quatro factores. O primeiro factor é geológico, e só por si pode fazer o IFI assumir o seu valor máximo (se for uma área carsificada ou muito fracturada). Caso não assuma o valor máximo então são caracterizados outros três factores: tipo de solo (A, B, C ou D), declive do terreno (<2%, 2-6%, 6-12%, 12-18%, >18%), quantidade máxima de água armazenável no solo e que pode ser utilizada para a evapotranspiração - AGUT (dez classes de 50 mm de intervalo, desde < 50 mm a > 450 mm). A cada classe é atribuído um

índice entre 1 e 10, que no final se somam para produzir o IFI. O índice máximo (IFI = 30) significa as condições mais favoráveis para a infiltração e é obtido para um solo tipo A, declive do terreno <2% e AGUT < 50mm. Identificadas as zonas com IFI elevado (mais favoráveis à infiltração), estas serão validadas com observações de campo, informações de residentes acerca do comportamento destas áreas durante a ocorrência de chuva, ou outro tipo de informação.

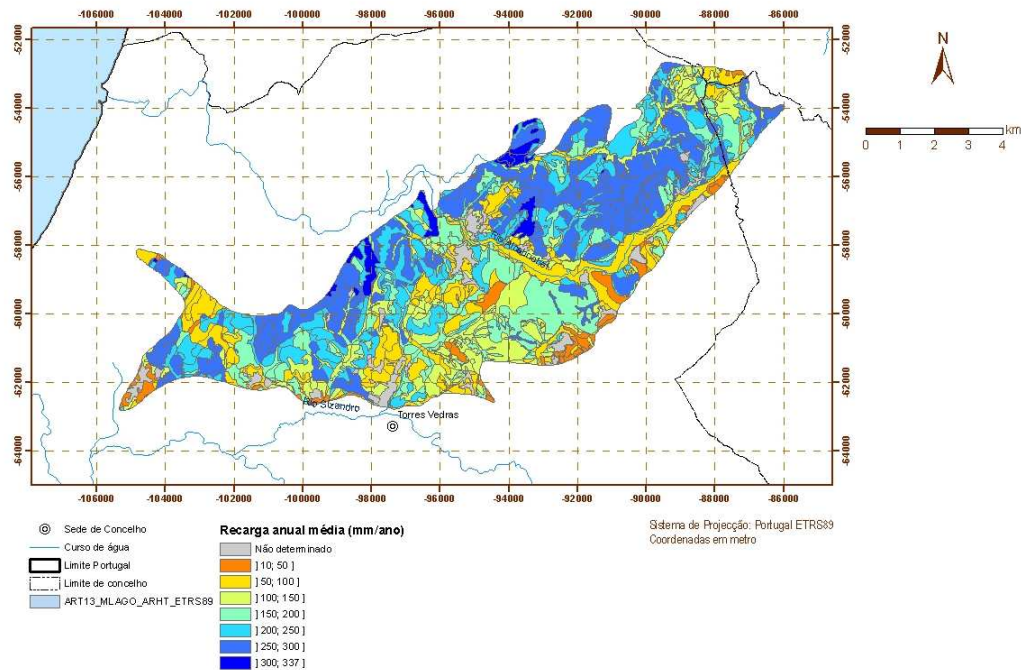


Figura 5 – Recarga média anual actual do sistema aquífero de Torres Vedras

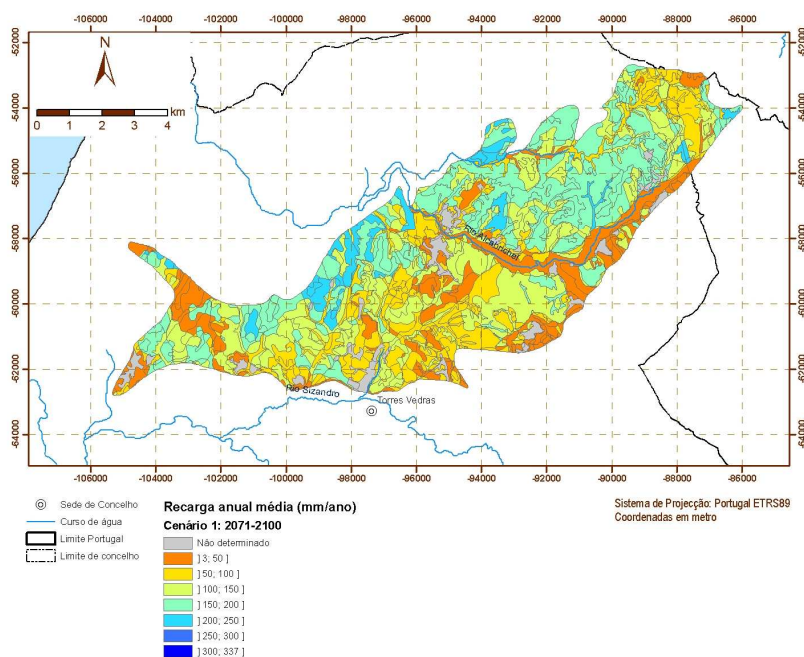


Figura 6 – Recarga média anual esperada para o Cenário 1 em 2071-2101 do sistema aquífero de Torres Vedras

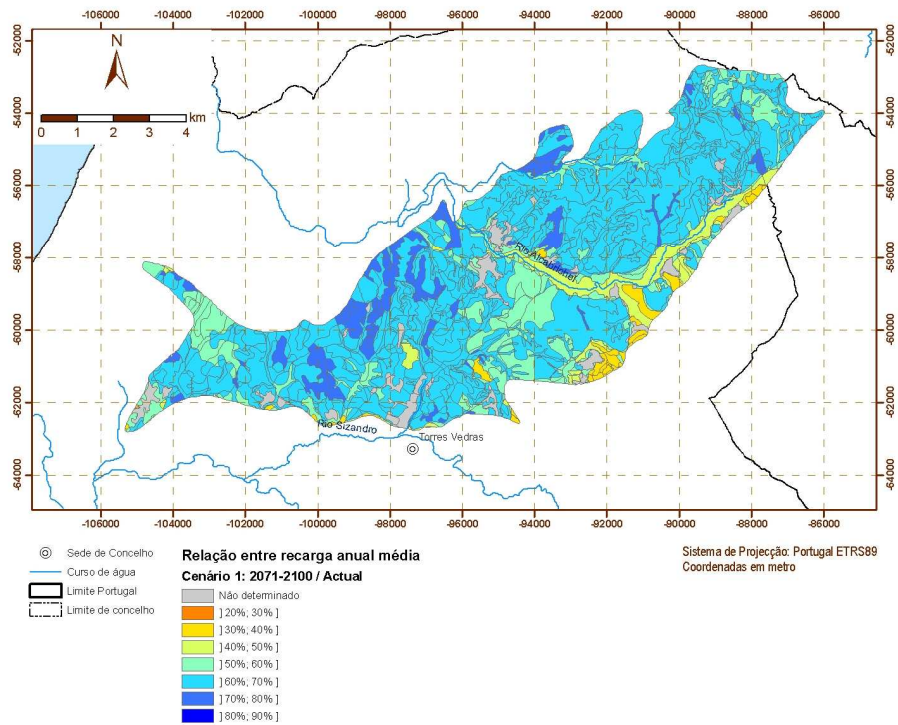


Figura 7 – Relação entre a recarga média anual actual e a esperada para o Cenário 1 em 2071-2101 do sistema aquífero de Torres Vedras

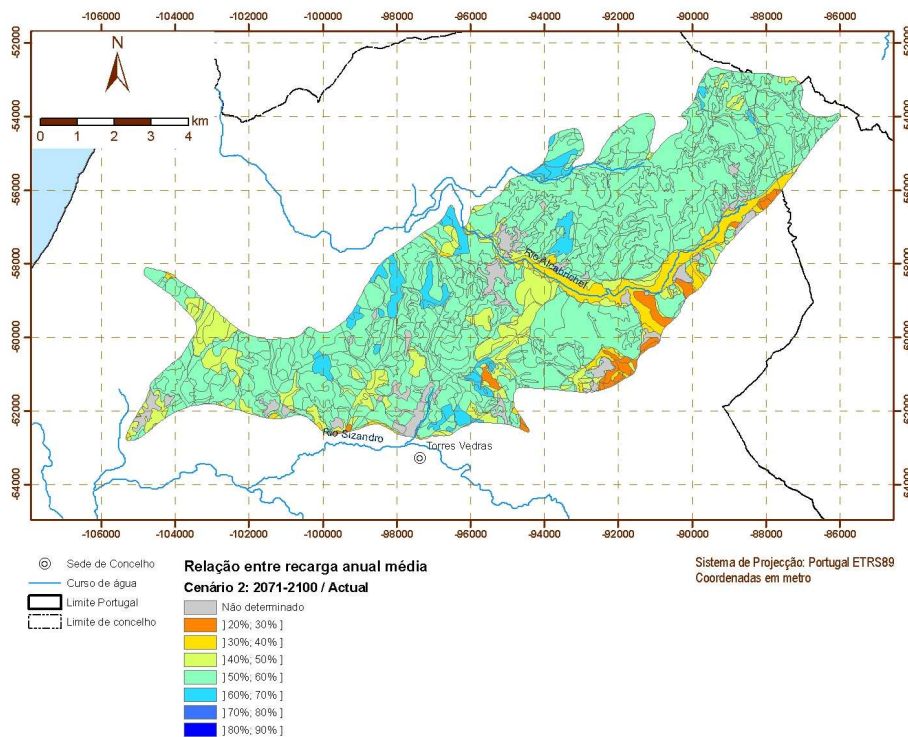


Figura 8 – Relação entre a recarga média anual actual e a esperada para o Cenário 2 em 2071-2101 do sistema aquífero de Torres Vedras

Tendo em vista a definição das zonas especiais de protecção para a recarga de aquíferos esta metodologia de definição das áreas de infiltração máxima foi aplicada às massas de águas subterrâneas onde se situam, ou potencialmente se podem vir a situar, as captações de água destinadas ao consumo humano.

Poderiam eventualmente considerar-se como zonas especiais de protecção áreas que drenam para as massas de águas subterrâneas onde se possam implementar medidas que permitam uma maior infiltração no solo, como por exemplo, alterar a ocupação do solo para permitir uma maior recarga.

A caracterização das zonas de máxima infiltração inclui:

- a respectiva identificação e descrição;
- o estado quantitativo das massas de águas subterrâneas influenciadas;
- as condicionantes a serem consideradas para efeitos de licenciamento do seu uso ou ocupação;
- as medidas que estejam previstas e o estado em que se encontram:
 - programadas;
 - em implementação;
 - já implementadas.

Para condicionamento da utilização das áreas que constituam zonas de infiltração foi considerado o seguinte:

- delimitação das zonas especiais de protecção para a recarga de aquíferos;
- definição e aplicação de regras e limitações ao uso das zonas especiais de protecção para a recarga de aquíferos, condicionante do respectivo licenciamento;
- tipificação dos condicionamentos de utilização das zonas especiais de protecção para a recarga de aquíferos;
- programação de intervenções nas áreas de maior infiltração.

Na Figura 9 apresenta-se o Índice de Facilidade de Infiltração calculado para a área do PGRH Tejo.

Risco de poluição accidental associado a estradas

Para o efeito da análise de risco de poluição accidental associado a estradas, simplificou-se o método referido em Leitão *et al.* (2005) tendo-se dividido a escala do índice IFI, anteriormente apresentado, em quatro classes de risco, respectivamente:

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

A Figura 10 apresenta a análise efectuada sobrepondo ao mapeamento IFI a rede de estradas, zonas de protecção de captações e nascentes hidrominerais e uma zona adjacente de 1 km aos eixos das estradas, permitindo classificar o risco de poluição accidental proveniente de estradas, para as águas subterrâneas, nas quatro classes acima referidas. Podem ser classificadas como “zonas em risco” as correspondentes às classes Alto e Muito Alto.

MODELOS DE DADOS

A Directiva-Quadro da Água visa proteger as águas superficiais interiores, as águas de

transição, as águas costeiras e as águas subterrâneas, e visa atingir determinados objectivos ambientais através da execução de programas de medidas especificados no Plano de Gestão das Região Hidrográfica (PGRH). Os sistemas de informação foram identificados pela ARH do Centro I.P como uma ferramenta de gestão dos recursos hídricos eficaz e eficiente, podendo contribuir para o cumprimento das metas a serem fixadas por estes PGRH. Neste contexto, as ARHs do Norte, do Centro e do Tejo contrataram o LNEC para a realização de estudos destinados à concepção e desenvolvimento da especificação de informação geográfica de suporte ao planeamento e gestão de recursos hídricos, que incluiu a caracterização e modelação dos aspectos quantitativos e qualitativos das massas de águas subterrâneas, aplicáveis às regiões hidrográficas em estudo. O projecto para a ARH do Centro está estruturado em quatro componentes sendo a Componente 1 o Desenvolvimento e implementação da especificação de informação geográfica através de modelos de dados geográficos.

O objectivo da componente 1 é a definição e a implementação de um modelo de dados geográficos para as bases geográficas de referência e temáticas, de caracterização da rede hidrográfica, das massas de água superficiais e subterrâneas, e das respectivas zonas protegidas.

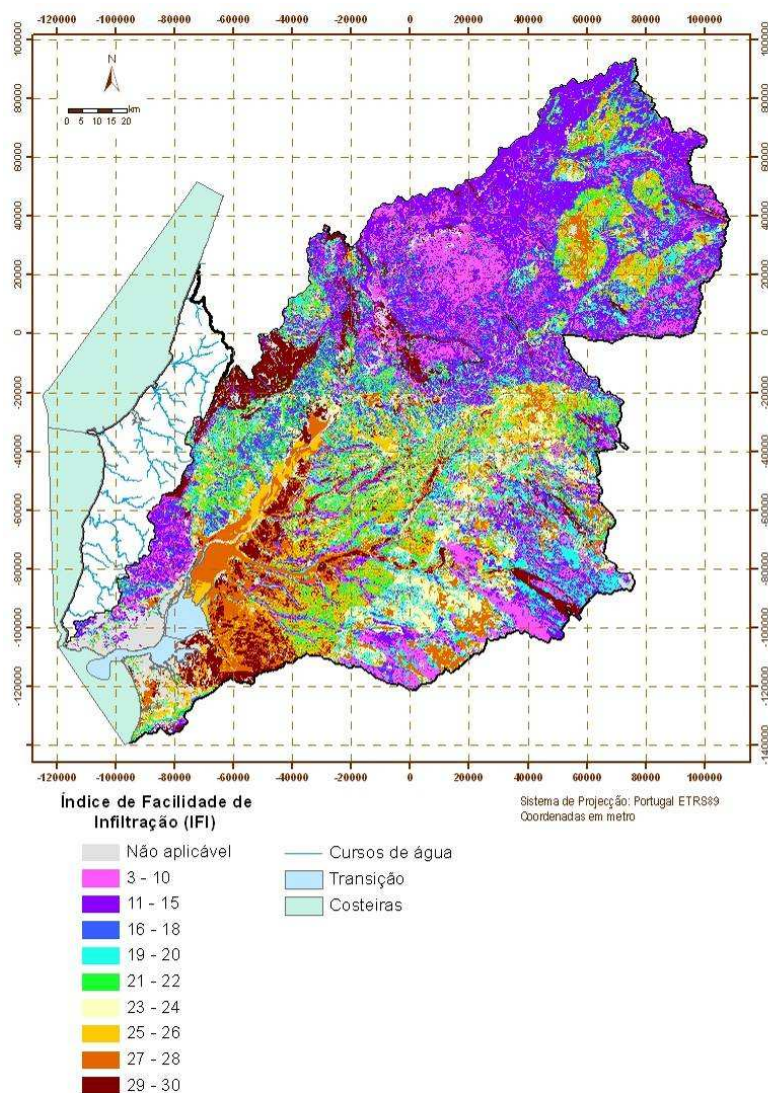


Figura 9 – Índice de Facilidade de Infiltração da área do PGRH Tejo (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

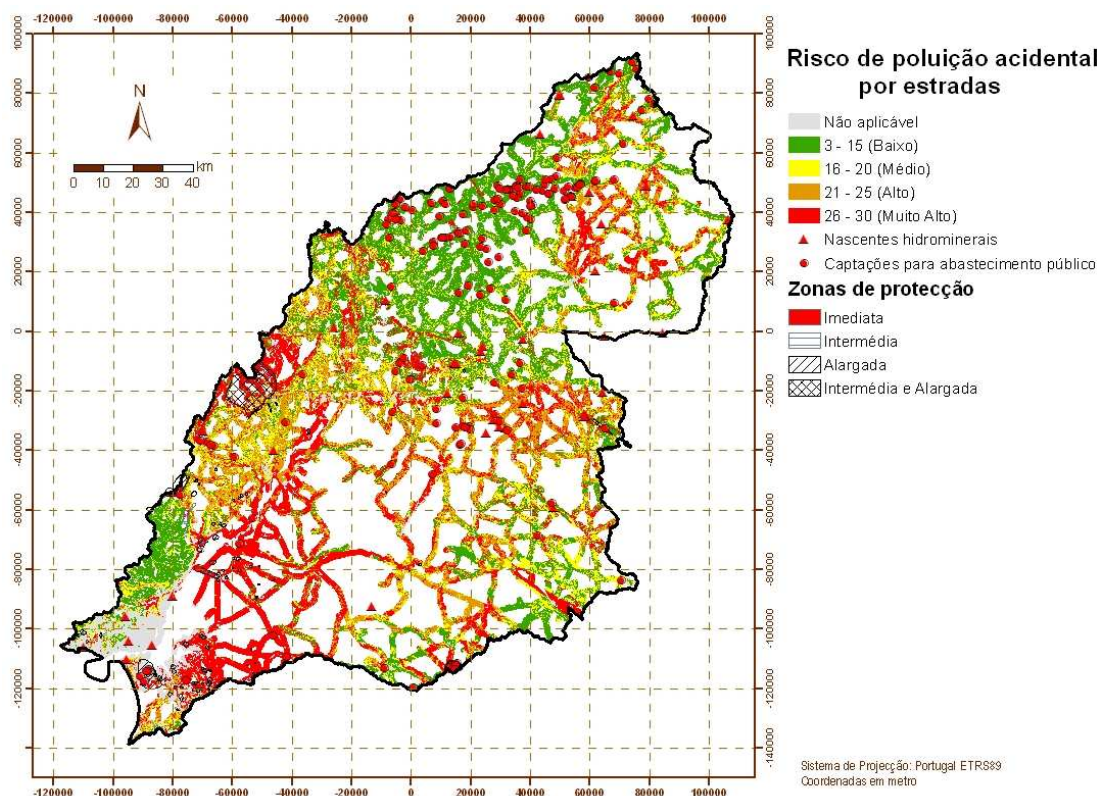


Figura 10 – Mapa do risco de poluição acidental associado a estradas (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

Esta componente foi dividida nas seguintes tarefas:

Tarefa 1.1. – Análise de requisitos dos modelos de dados geográficos;

Tarefa 1.2. – Especificação de informação geográfica através de modelos de dados;

Tarefa 1.3. – Implementação e validação do modelo de dados;

Tarefa 1.4. – Apoio à experimentação do sistema e à definição de estratégias para a sua manutenção.

O 2º relatório da Componente 1 (Charneca *et al.* (2011) define os requisitos para o desenvolvimento do modelo de dados geográficos (MDG) de suporte às acções de planeamento e gestão a executar pela ARH do Centro.

O desenvolvimento do MDG suporta os produtos referentes às componentes de modelação qualitativa e quantitativa em aquíferos, que inclui a caracterização hidrogeológica da zona de jurisdição da ARH Centro, a caracterização das vulnerabilidades à poluição e à intrusão marinha, bem como a modelação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas.

A Figura 11 exemplifica um diagrama de classes, neste caso referente às associações entre a classe *PontosAguaSubterranea* e os respectivos perímetros de protecção a captações de águas subterrâneas.

MODELOS CONCEPTUAIS E MATEMÁTICOS

Para a realização do modelo conceptual das massas de águas subterrâneas do PGRH Tejo e do PBH Oeste foi efectuado o levantamento e digitalização no programa HydroGeoAnalyst de cerca de 1600 logs de captações de abastecimento cujos processos se encontravam arquivados na ARH Tejo.

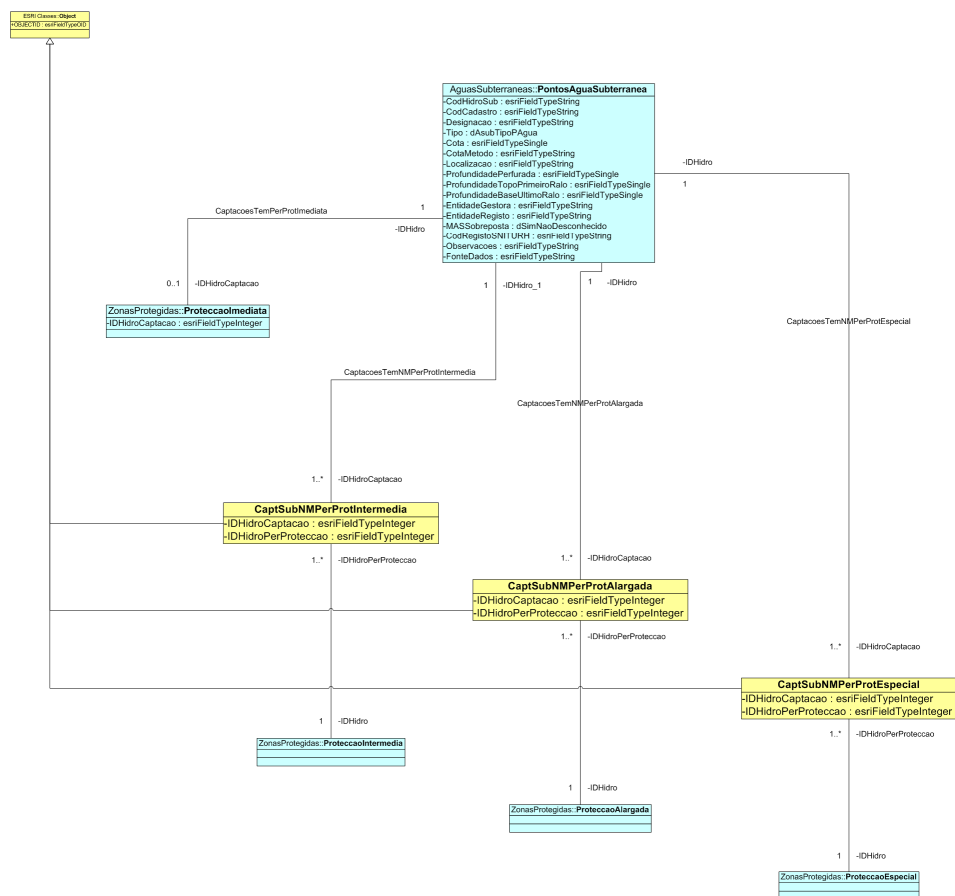


Figura 11 - Diagrama de classes referente às associações entre a classe PontosAguaSubterranea e os respectivos perímetros de protecção a captações de águas subterrâneas (Fonte: Charneca *et al.*, 2011)

Na Figura 12 apresenta-se um exemplo desses logs, para o sistema aquífero de Torres Vedras localizado no Oeste. A junção da informação dos logs permite a visualização do modelo conceptual. No exemplo do sistema aquífero de Torres Vedras a informação das sondagens mostra um sistema aquífero constituído pela alternância de areias e argilas, podendo genericamente definir-se pelas unidades que se apresentam nos cortes W-E e SSW-NNE da Figura 13. Assim as unidades areníticas estão separadas da superfície por uma unidade argilosa e a unidade de alternâncias de grés e argilas estão separadas da superfície por pelo menos duas unidades argilosas, sendo a segunda de espessura significativa na zona central do sistema aquífero. Na unidade de alternâncias de grés e argilas (unidade 5) o sector central e leste do sistema aquífero (*cf.* Corte SSW-NNE da Figura 13) tem uma forte componente argilosa que define várias sub-unidades mais gresosas; por seu lado o sector sul parece dominado por uma significativa ausência destes espessos níveis de argilas (*cf.* Corte W-E), admitindo-se que seja de natureza predominantemente mais arenosa. Na Figura 14 apresentam-se as direcções de fluxo no sistema aquífero de Torres Vedras, calculadas por Vieira da Silva (2010) para a década de 1970 e para a actualidade.

DIAGNÓSTICO

Área Temática Qualidade da Água

Os resultados da análise das pressões e dos seus impactes na qualidade das águas

subterrâneas da região do Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (PGRH Tejo) que se apresentaram em Lobo-Ferreira *et al.* (2011a) permitem determinar um conjunto de cinco, das 15 massas de águas subterrâneas, em risco de não virem a cumprir os objectivos de qualidade da água definidos na Directiva-Quadro da Água (DQA).

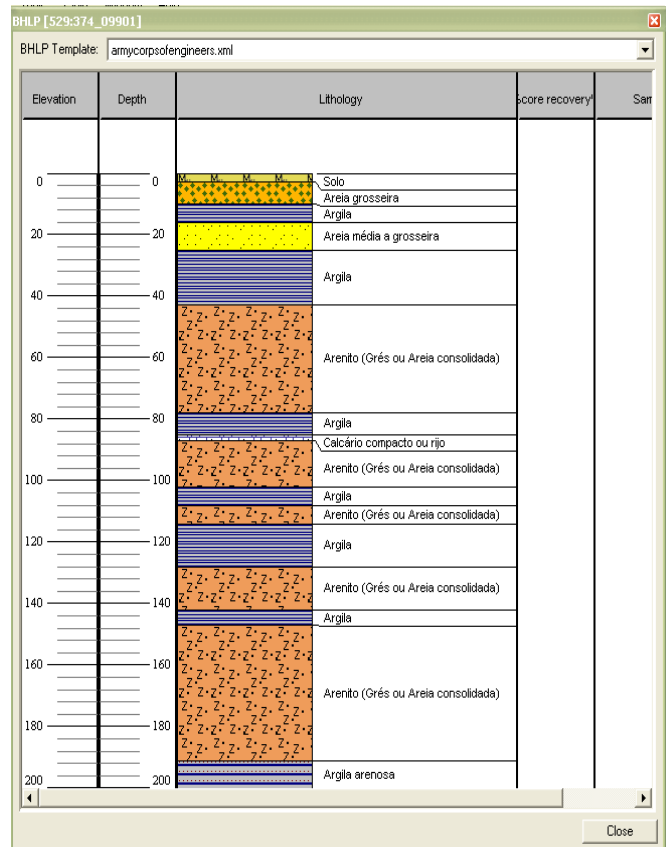


Figura 12 - Log da captação 529_374 do sistema aquífero de Torres Vedras

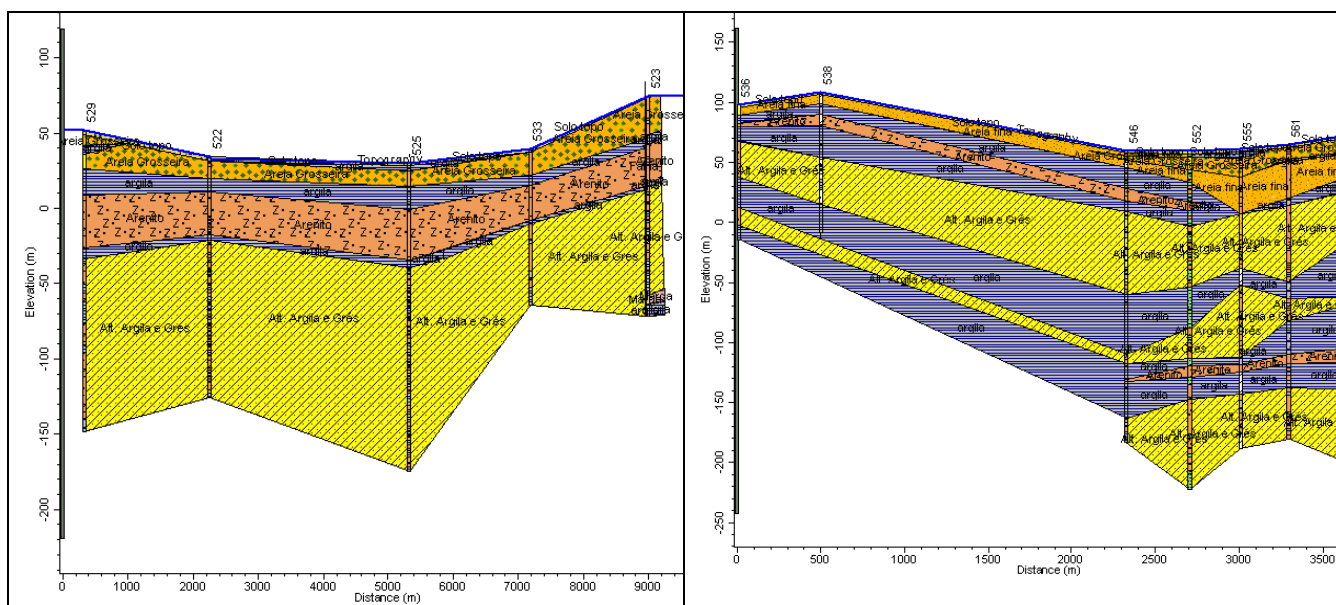


Figura 13 - Corte W-E e corte SSW-NNE no sistema aquífero de Torres Vedras

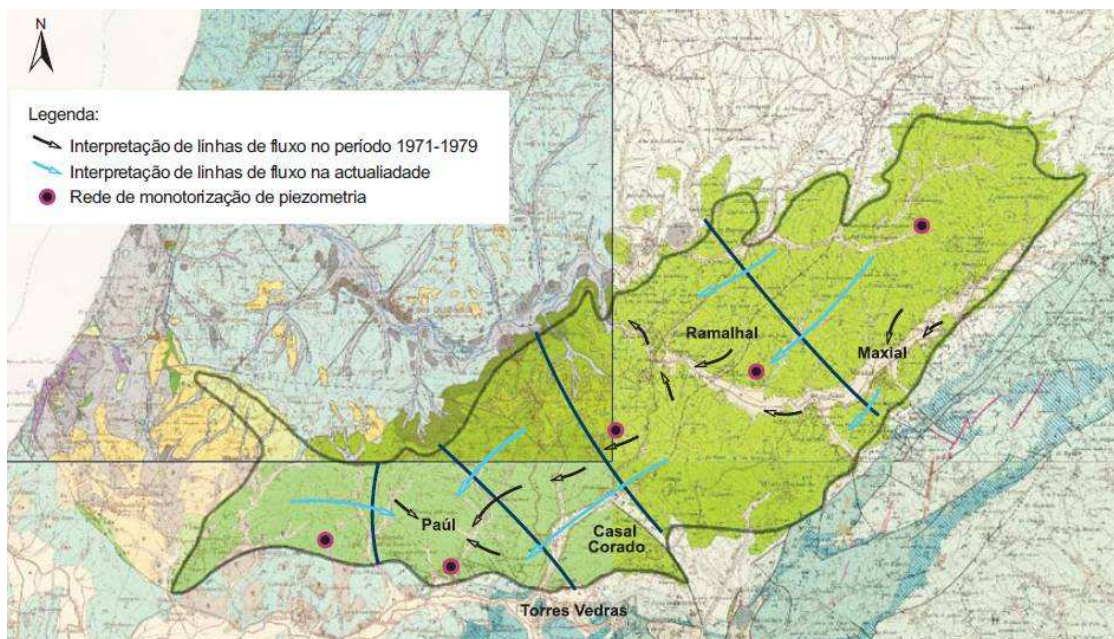


Figura 14 – Direções de fluxo no sistema aquífero na década de 1970 e na actualidade. (Fonte: Vieira da Silva, 2010).

Consideraram-se nessa situação as massas que se encontram em uma ou mais de três situações: (1) em estado químico medíocre; (2) com tendência estatisticamente significativa de subida de algum parâmetro cujo valor ultrapassou os 75% do valor limite regulamentar e (3) sujeita a pressões de elevado impacto em massas com elevada vulnerabilidade.

O estado químico foi avaliado aplicando todos os testes previstos na DQA apresentando-se na Figura 15 a síntese do estado químico geral e das tendências significativas e constantes das águas subterrâneas do PGRH Tejo.

Área Temática Quantidade de Água

Exemplificando a análise de tendência desenvolvida relativa à evolução do nível piezométrico apresenta-se o andamento observado no piezómetro 318/2, localizado no Maciço Calcário Estremenho. De acordo com o critério de análise de tendência que considera como valor crítico a tendência de descida de 100 mm/ano (= 0,274 mm/dia) para a piezometria máxima anual, não há tendência de descida, como se pode observar na Figura 16.

A avaliação global das tendências de evolução dos níveis piezométricos ao longo do tempo mostrou algumas situações de descida nos casos das massas de águas subterrâneas: O15 - Ourém, T1 - Margem Direita, T3 - Margem Esquerda, e também na zona norte da massa de águas T7 - Aluviões do Tejo. A Figura 17 representa o resultado da avaliação das tendências de evolução dos níveis piezométricos máximos anuais, considerando-se como tendência de descida os casos em que a descida anual é superior a 100 mm/ano.

As taxas de exploração calculadas para as massas de água do PGRH Tejo variam entre 1,5% e 77%, de acordo com os resultados do balanço por massa de águas subterrâneas desenvolvidos por Lobo-Ferreira *et al.* (2011a). Para este balanço e para integrar a incerteza associada aos cálculos quer da recarga quer das extracções de água, optou-se por considerar o valor de recarga mais baixo calculado entre o modelo de balanço hídrico sequencial diário (BALSEQ_MOD) e o proposto pela ARH-Tejo, e o valor mais elevado de extracções obtido pelo cálculo das necessidades e pela soma dos volumes inventariados.

De acordo com este balanço, opta-se por se classificar o estado quantitativo de todas as

massas de águas subterrâneas do PGRH Tejo como “Bom”.

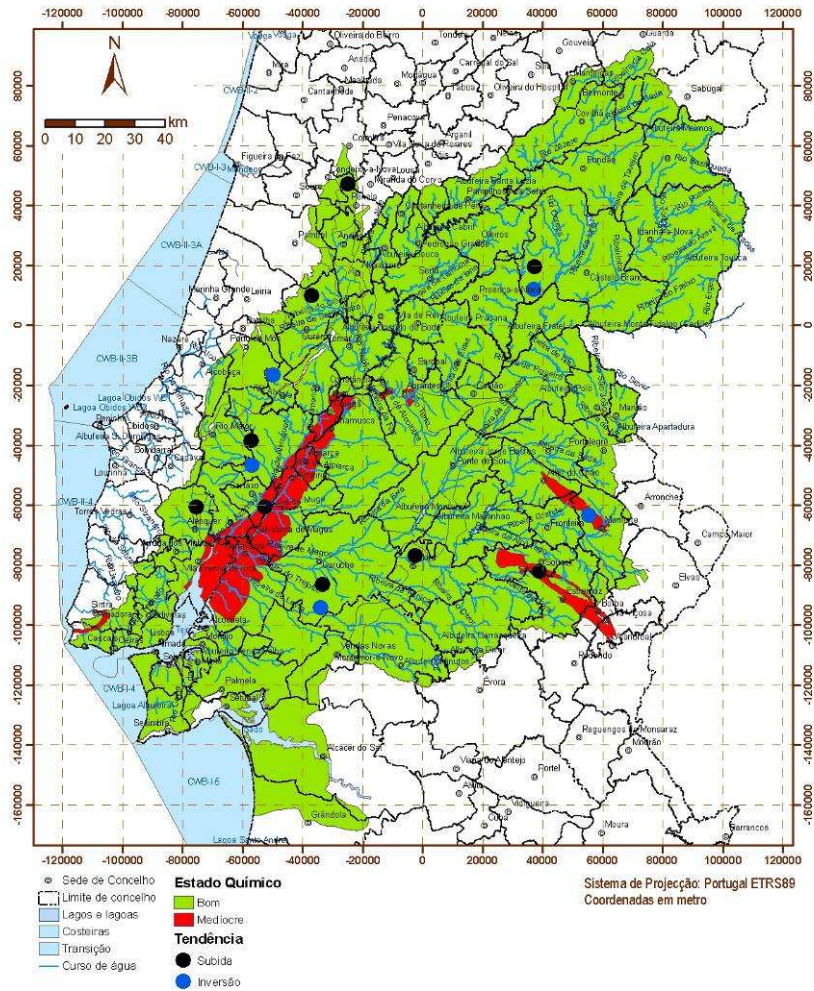


Figura 15 – Síntese do Estado Químico geral e das tendências significativas e constantes das águas subterrâneas do PGRH Tejo (bola preta: tendência crescente; bola azul: inversão de tendência) (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

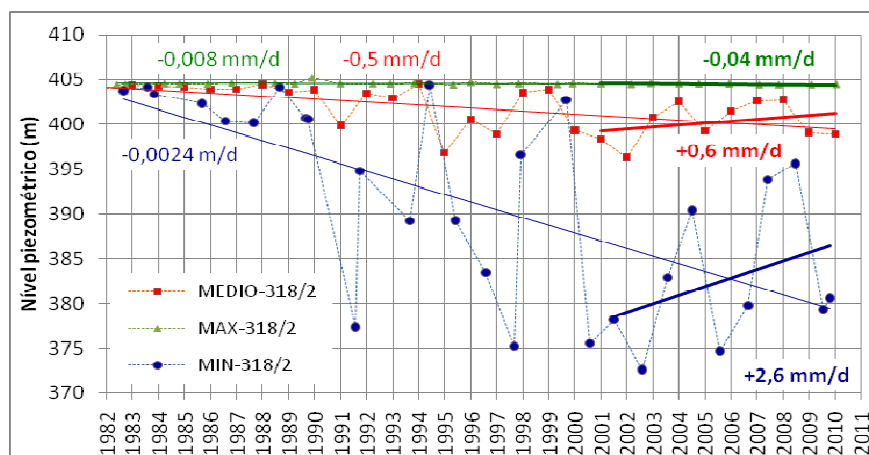


Figura 16 – Níveis piezométricos anuais máximos, mínimos e médios no piezômetro 318/2 (Maciço Calcário Estremenho), por ano hidrológico e respectivas tendências de evolução (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

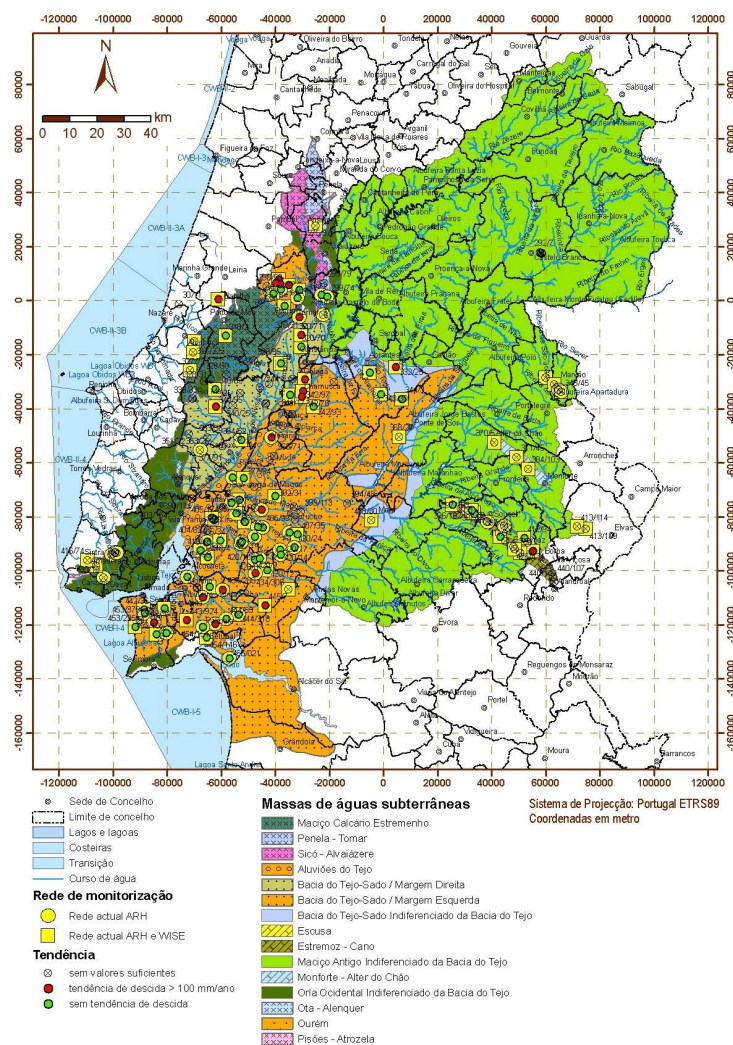


Figura 17– Evolução dos níveis piezométricos no PGRH Tejo por ponto de monitorização (Fonte: Lobo-Ferreira *et al.*, 2011a)

OBJECTIVOS

Área Temática Qualidade da Água

O principal objectivo dentro desta área temática é alcançar o bom estado das águas subterrâneas, para o que se deve assegurar a protecção, melhoria e recuperação de todas as massas de águas subterrâneas e inverter quaisquer tendências significativas persistentes para o aumento da concentração de poluentes que resulte do impacte da actividade humana, com vista a reduzir gradualmente os seus níveis de poluição.

De acordo com Lobo-Ferreira *et al.* (2011a) as massas de águas subterrâneas que presentemente não cumprem os objectivos de qualidade pretendidos, na área do PGRH Tejo, são as seguintes: Monforte – Alter do Chão; Estremoz – Cano; Pisões – Atrozela e Aluviões do Tejo. A Bacia do Tejo-Sado Margem Esquerda também apresenta tendências estatisticamente significativas de subida dos nitratos e azoto amoniacal. Os objectivos propostos vão no sentido de assegurar a redução gradual da poluição das águas subterrâneas e evitar o agravamento da sua poluição.

Para os restantes massas de águas subterrâneas (Máciço Antigo Indiferenciado da Bacia do

Tejo, Escusa, Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo, Penela-Tomar, Sicó-Alvaiázere, Ourém, Maciço Calcário Estremenho, Ota-Alenquer, Bacia Tejo-Sado Indiferenciado da Bacia do Tejo e Bacia Tejo-Sado Margem Direita), os objectivos são evitar a continuação da degradação e proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos e também dos ecossistemas terrestres e zonas húmidas directamente dependentes dos ecossistemas aquáticos, no que respeita às suas necessidades de água.

Área Temática Quantidade de Água

O principal objectivo dentro desta área temática é alcançar o bom estado das águas subterrâneas, garantindo o equilíbrio entre as extracções e as recargas das massas de águas.

Registam-se aparentes tendências de descidas piezométricas nalguns piezómetros pertencentes às massas de águas subterrâneas de: (1) Ourém, (2) Bacia Tejo-Sado Margem Direita, (3) Bacia Tejo-Sado Margem Esquerda, e (4) Zona norte das Aluviões do Tejo.

Dado que há algumas incertezas nas séries de dados disponíveis, quer devido à sua extensão quer devido à sua continuidade, e dado que não há massas de águas onde a relação extracções / recarga se aproxime de um valor considerado crítico para a manutenção do bom estado quantitativo das massas de águas subterrâneas, não se considera que estas massas de águas subterrâneas estejam em estado medíocre.

Assim, para estas massas de águas os objectivos vão no sentido de promover uma utilização sustentável de água, baseada numa protecção a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis.

MEDIDAS

Lobo-Ferreira *et al.* (2011b) propuseram para o PGRH Tejo cerca de 60 medidas de base e cerca de 30 medidas suplementares, que visam respectivamente o cumprimento dos objectivos ambientais previstos na legislação em vigor e garantir uma maior protecção ou uma melhoria adicional das águas, sempre que tal seja necessário. No âmbito das medidas adicionais os locais considerados a priori de intervenção prioritária, devido à comprovada presença da contaminação, são os seguintes: (1) terrenos no Seixal, da antiga Siderurgia Nacional e outros na área da SPEL e antigos areeiros; (2) antiga zona industrial do Barreiro; e, (3) área industrial de Alcanena.

CONCLUSÕES

Para facilitar a divulgação dos resultados alcançados nos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) de Portugal, em finalização em 2011, abordaram-se, nesta comunicação, alguns dos aspectos relativos às águas subterrâneas. Procedeu-se à caracterização das Regiões Hidrográficas por massas de águas subterrâneas, como nos demais Estados-membros da União Europeia. Apresentaram-se as linhas de força de elaboração dos PGRH, destacando o desenvolvimento em ambiente SIG, o relevo dado aos modelos de dados, aos ecossistemas dependentes das águas subterrâneas (EDAS), à digitalização de logs, à monitorização e às novas campanhas de recolhas de amostras de águas subterrâneas no PGRH Tejo e PBH Oeste. Apresentaram-se algumas metodologias portuguesas, de que se destacam a recarga de aquíferos (modelo BALSEQ_MOD), o Índice de Facilidade de Infiltração (IFI) e o risco de poluição accidental associado a estradas, baseado no índice IFI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J. (2000) – Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, Centro de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa e Instituto da Água.
- Charneca, N.; Oliveira, M. M.; Oliveira, A. (2011) - "Modelação de dados geográficos e modelação matemática dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para o planeamento e gestão dos recursos hídricos sob jurisdição da ARH do Centro, I.P. - Relatório 2: Modelo lógico de dados geográficos de suporte ao planeamento e gestão de recursos hídricos". Relatório 163/2011 - NTI/NAS, 182 pp.
- Leitão, T.E.; Barbosa, A. E.; Telhado, A. (2005) - Proposta de uma metodologia para a identificação de zonas hídricas sensíveis aos poluentes rodoviários. In 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Évora, 30 Maio a 2 de Junho 2005.
- Lobo Ferreira, J.P. (1981, 1982) – "Mathematical Model for the Evaluation of the Recharge of Aquifers in Semiarid Regions with Scarce (Lack) Hydrogeological Data". Proceedings of Euromech 143/2-4 Setp. 1981, Rotterdam, A.A. Balkema (Ed. A. Verruijt & F.B.J. Barends). Também: Memória Nº 582, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1982.
- Lobo Ferreira, J.P.; Pinto, I.V.; Monteiro, J.P.; Oliveira, M.M.; Leitão, T.E.; Nunes, L.; Novo, M.E.; Salvador, N.; Nunes, J.F.; Pombo, S.; Silva, M.F.; Igreja, A.; Henriques, M.J.; Silva, D.; Oliveira, L.; Martins, T.; Martins, J.; Braceiro, A.; Henriques, R.S.; Martins, R. (2011a) - "Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo. Conteúdos para Consulta Pública do PGRH". Relatório Hidroprojecto-LNEC-ICCE, PGRH Tejo, Maio 2011, 186pp.
- Lobo Ferreira, J.P.; Leitão, T.E.; Leal, G.; Monteiro, J.P.; Salvador, N.; Oliveira, M.M.; Nunes, L.; Novo, M.E.; (2011b) – "Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo. Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos, 1.ª FASE. Segunda Versão dos Conteúdos do PGRH, Parte 6". Relatório Hidroprojecto-LNEC-ICCE, 764 pp.
- Martins, T., Oliveira, M. M., Lobo Ferreira, J. P (2011) - "Modelação da Recarga dos Sistemas Aquíferos da Região Hidrográfica do Centro". Relatório Final, Lisboa, LNEC, Relatório n.º 208/2011, 117pp.
- Monteiro, J.P., Alcobia, S., Martins, R., Chambel, A., Duque, J., Agra, R., Bettencourt, P. e Sarmiento, P. (2011) - Contributo para a Identificação de Ecossistemas Dependentes de Água Subterrâneas nas Bacias Hidrográficas do Sado e Mira e do Guadiana em Portugal. VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua "Ríos Ibéricos +10. Mirando al futuro tras 10 años de DMA" 16/19 de febrero de 2011, Talavera de la Reina, 6 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. (2002) – "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., Novo, M.E., Lobo Ferreira, J.P. (2007) – "Models to predict the impact of the climate changes on aquifer recharge". In Lobo Ferreira, J.P.; Vieira, J. (eds) - Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability, IAHS Red Books, London, IAHS Publication 310, ISBN 978-1-901502-88-6, pp. 103-110.
- Salvador, N., Cancela da Fonseca, L., Machado, M. e Monteiro, J. P. (2011) - Identificação de Lagoas Temporárias Mediterrânicas em Portugal: Uma Contribuição para a Caracterização dos Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas na Península Ibérica. VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua "Ríos Ibéricos +10. Mirando al futuro tras 10 años de DMA" 16/19 de febrero de 2011, Talavera de la Reina, 6 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.