

# DESAFIOS DA GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA O SÉCULO XXI. CONTRIBUTO DA PERSPECTIVA DA CIÊNCIA APLICADA

**Teresa E. LEITÃO\***

(\* ) Doutora em Hidrogeologia, Investigadora Principal com Habilitação, Núcleo de Águas Subterrâneas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. do Brasil, 101 P-1700-066 Lisboa, tleitao@lnec.pt

## RESUMO

Os grandes desafios da gestão integrada e sustentável das águas subterrâneas para o século XXI assentam na efectiva aplicação de medidas articuladas entre os diversos sectores implicados, que contribuam para proteger, melhorar e reabilitar a qualidade das massas de águas subterrâneas das principais origens de contaminação e de deterioração a que estão, ou possam vir a estar, sujeitas. As principais linhas de força dessas medidas devem assegurar a redução global da poluição e/ou a manutenção da qualidade das águas, tendo em vista alcançar um Bom estado das águas subterrâneas (químico e quantitativo).

Neste artigo apresentam-se alguns dos desafios principais com que Portugal se defronta tendo sido seleccionadas três linhas de pressões principais:

- actividades potencialmente poluidoras (agricultura, golfe, estradas, aeroportos, lixeiras);
- pressões causadas por catástrofes ‘naturais’, como o caso dos fogos florestais;
- mudanças impostas pelas alterações climáticas.

O artigo é baseado no trabalho desenvolvido em Leitão (2010) intitulado "Gestão integrada e sustentável da qualidade das águas subterrâneas em Portugal: contributos para um Bom estado em 2015", que teve por objectivo propor um conjunto de linhas de investigação e de desenvolvimento nestas áreas para Portugal. Apresentam-se, também, alguns exemplos concretos de objectivos e de medidas para responder a desafios de gestão, actualmente em debate, utilizando como exemplo a área do sistema aquífero de Monforte, em análise no âmbito da componente de águas subterrâneas do Plano de Gestão de Região Hidrográfica do Tejo (PGRH Tejo).

**Palavras-Chave:** *Gestão integrada, sustentabilidade, águas subterrâneas, qualidade, Bom estado.*

## **INTRODUÇÃO**

O fornecimento da água necessária, em condições de boa qualidade e de forma a satisfazer as diversas carências socioeconómicas da população e dos ecossistemas é o grande desafio do desenvolvimento sustentável para o século XXI e seguintes.

A resposta a este desafio deverá ter por base um modelo de gestão global, integrado, transparente, solidário e participado de articulação das políticas públicas onde exista uma clara definição das competências e da coordenação de iniciativas entre os vários responsáveis pela administração do território. O modelo deve ter por base uma análise de longo prazo, dos recursos disponíveis e das necessidades dos utilizadores (abastecimento urbano, agricultura, indústria, produção hidroeléctrica, ecossistemas aquáticos) onde se reconheçam as dimensões de natureza ambiental, ética, social e económica, e onde as decisões constituam actuações de continuidade, de carácter preventivo e estruturante fazendo uso da aplicação das melhores opções técnicas disponíveis e dos conhecimentos científicos mais apropriados.

O papel das águas subterrâneas no contexto global dos recursos hídricos implica que se tenham em consideração dois aspectos de crucial importância, onde se reconhece este recurso não apenas como um reservatório de água mas também como um recurso dinâmico com importante papel na gestão dos recursos hídricos [Vrba and Lipponen, 2007, citando o International Hydrological Programme (IHP) e o World Water Assessment Programme (WWAP)]: (1) as águas subterrâneas têm que ser analisadas no contexto mais global do ciclo hidrológico e os aquíferos como uma componente hidrológica significativa e integrante das bacias hidrográficas e (2) as águas subterrâneas devem ser apreendidas no contexto mais vasto das dimensões económica, social e ecológica, em especial daquelas que estão relacionadas com o seu uso e as suas consequências.

O contexto legal Europeu deste desafio vem claramente expresso na Directiva-Quadro da Água (DQA, 2000/60/CE). Em Portugal a DQA foi transposta para direito nacional pela Lei da Água (Lei n.º 58/2005) que a completou, consolidando o quadro legislativo vigente e, também, criando condições para a adaptação e dotação da estrutura institucional vigente e dos instrumentos de gestão tendo em vista uma maior operacionalidade política de gestão dos recursos hídricos portugueses. A Directiva das Águas Subterrâneas (DAS, 2006/118/CE), o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) e o Plano Estratégico de Abastecimento de Águas e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR) 2007/12, Programa Nacional da Política do Ordenamento do Território (PNPOT) são exemplos de alguns dos principais instrumentos complementares a ter em consideração para a efectiva melhoria da qualidade e quantidade das águas.

## **REVISÃO DOS DESAFIOS PARA PORTUGAL**

Em termos de quantidade de águas subterrâneas, em Portugal Continental estima-se que as reservas superem largamente as reservas superficiais em albufeiras, com valores de cerca de 100 km<sup>3</sup> e de 12 km<sup>3</sup>, respectivamente. Cerca de 44% da população portuguesa do Continente é servida por águas subterrâneas, número que ascende a cerca de 93% e 99% nas Regiões

Autónomas da Madeira e dos Açores, respectivamente (INAG, 2007). O volume de águas subterrâneas anualmente captado para abastecimento urbano no Continente corresponde a cerca de 37% do volume total, i.e. 399 hm<sup>3</sup> de 1086 hm<sup>3</sup>.

Este recurso apresenta potencialidades ímpares resultantes da sua boa distribuição espacial e da existência de importantes reservas, associadas ao facto de ser um recurso que, pela sua natureza, mostra uma grande resiliência a efeitos de flutuações climáticas sazonais e a processos de contaminação, apresentando uma forte estabilidade das reservas de água e da qualidade natural oferecida pelos processos naturais de purificação. É, por isso, um recurso muitas vezes mais económico e promissor na gestão das reservas hídricas a longo prazo, atendendo já aos efeitos das expectáveis alterações climáticas que se esperam para este século e a eventuais cenários de desastres que possam afectar outros recursos.

As águas subterrâneas contribuem de forma importante para alimentar algumas zonas húmidas e o caudal de base dos rios ao longo de todo o ano. Consequentemente, a deterioração da qualidade das águas subterrâneas pode afectar directamente os meios hídricos superficiais e os ecossistemas associados. Por outro lado, a natureza do processo de recarga de águas subterrâneas implica a sua passagem à superfície e através do solo, pelo que o controlo da sua qualidade está intimamente ligado ao uso e ocupação do solo e todas as actividades e pressões existente à superfície.

Efectivamente, a ameaça de contaminação de águas subterrâneas resulta de um processo natural e incessante estimulado pelo ciclo da água associado às capacidades químicas da água como um solvente universal em interacção com o meio envolvente. Esta ameaça está intimamente ligada às actividades humanas de ocupação e uso do solo.

Em Portugal registam-se diversos problemas de contaminação de água de origem pontual e difusa, originada por más práticas de rejeição de efluentes líquidos e de resíduos sólidos procedentes da indústria, agricultura e fontes domésticas ao longo das últimas décadas. Elevados investimentos e retornos têm sido observados no âmbito das descargas de águas residuais e industriais, embora neste último campo subsistam rejeições ilegais com claros efeitos adversos para a degradação da qualidade das águas de jusante. No domínio da agricultura, como a principal actividade consumidora de água no País, a utilização de sistemas de rega mais eficientes e de práticas agrícolas compatíveis com os níveis de qualidade de jusante reveste-se de grande importância na medida em que o uso parcimonioso da água reduz, também, a possibilidade de migração de fertilizantes e de pesticidas para as águas subterrâneas. Por outro lado, a qualidade das águas subterrâneas também tem dado sinais de degradação com problemas de intrusão marinha em zonas costeiras.

A experiência mundial no passado recente sobre a reabilitação de águas subterrâneas poluídas evidencia dificuldade em remover as concentrações de contaminantes para valores aceitáveis e investimentos económicos associados muito elevados. Como consequência, a ênfase deve incidir na prevenção da contaminação como princípio base.

Nos capítulos seguintes apresenta-se uma síntese dos conhecimentos existentes no âmbito da temática da gestão integrada e sustentável da qualidade das águas subterrâneas, bem como um

exercício prospectivo das necessidades de investigação, de desenvolvimento e de actuação (resposta) no âmbito da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos que permita contribuir para assegurar a redução global da poluição e/ou a manutenção da qualidade das águas, tendo em vista alcançar um Bom estado das águas subterrâneas (químico e quantitativo) em 2015, com eventuais prorrogações e derrogações, em Portugal.

As três vertentes estratégicas seleccionadas para reflexão e aprofundamento em relação à temática qualidade dos recursos hídricos subterrâneos, resulta das forças motrizes que, a nosso ver, causam as principais pressões neste recurso:

- actividades potencialmente poluidoras (agricultura, golfe, estradas, aeroportos, lixeiras);
- pressões causadas por catástrofes ‘naturais’, usando como exemplo o caso dos fogos florestais;
- mudanças impostas pelas alterações climáticas.

## **CONTAMINAÇÃO DIFUSA DE ORIGEM AGRÍCOLA**

### **Principais questões**

Cerca de 43% (138 milhões de hectares) da área total do território da União Europeia (EU-15) era usada para a agricultura nos finais do século passado (Vall e Vidal, 1999). Segundo os mesmos autores, embora essa área tenha diminuído, o volume de produtos agrícolas aumentou, o que implica uma maior intensidade de produção e, possivelmente, uma maior concentração de poluição. No caso de Portugal as áreas ocupadas pela agricultura e pela silvicultura representam mais de 75% da área ocupada (77% em 2001) (PNPOT, 2006). Esta posição destacada em termos de ocupação e de uso do solo é também válida no que se refere aos consumos de água, uma vez que a agricultura é o principal utilizador deste recurso com 81,7% do consumo total, dos quais 64% tem origem subterrânea.

Para a preservação da qualidade da água, a extensão da ocupação do solo e do respectivo coberto vegetal são factores determinantes para a quantidade e a qualidade das águas subterrâneas subjacentes, em especial atendendo ao facto de existirem muitas situações em que as áreas mais adequadas ao cultivo intensivo se localizam em áreas de infiltração máxima, onde se processa a recarga principal dos aquíferos. Nesses casos o excesso de irrigação traduz-se num elevado potencial de contaminação difusa. Este tipo de ocupação aliada a deficientes práticas agrícolas tem como consequência que cerca de 1/3 das massas de águas subterrâneas da Europa excedem o limite de 50 mg/l de nitratos estabelecido nas normas de qualidade para as águas subterrâneas (cf. EEA, 2000, in Quevauviller, 2005), no Anexo I da Directiva das Águas Subterrâneas (DAS). Em Portugal, mais de 50% da área de afloramento de alguns sistemas aquíferos é de ocupação agrícola.

## Alguns desafios

A componente agrícola para o desenvolvimento sustentável do País é inquestionável. A sustentabilidade ambiental da agricultura implica não apenas a redução das perdas de água e a racionalização dos consumos (de 6551 hm<sup>3</sup>/ano), tornando mais eficiente a utilização da água sem prejuízo da sua eficácia, mas também o uso adequado de fertilizantes e pesticidas permitindo, no seu conjunto valorizar, proteger e gerir de forma equilibrada os recursos hídricos e respeitar a legislação em vigor.

Importa que em termos globais seja feita uma optimização da ocupação do solo atendendo às características das diferentes regiões com recurso a modelos de apoio à decisão. Os modelos deverão maximizar os benefícios líquidos da actividade agrícola e, simultaneamente, impor limitações a essa actividade, tendo em linha de conta diferentes tipos de solos, diferentes práticas agrícolas, disponibilidades hídricas e consequências ambientais sobre os sistemas subterrâneos e ou superficiais que possam vir a ser afectados.

O aumento da capacidade de computação dos últimos 20 anos e do conhecimento sobre o transporte, destino e impactes dos contaminantes mais comuns da contaminação difusa aumentou muito significativamente nas últimas décadas e veio possibilitar uma melhoria da modelação hidrológica e hidrogeológica, permitindo, entre outros aspectos, estimar perdas de nutrientes à escala da bacia hidrográfica, quando a informação existente é suficientemente precisa. Contudo, falha a compreensão quantitativa do sistema solo - água, necessária para uma adequada gestão integrada ao nível da bacia hidrográfica, como resultado da complexidade deste sistema, para diferentes escalas espaciais e temporais.

Por outro lado, as novas substâncias químicas que são continuamente introduzidas podem vir a constituir novos "contaminantes emergentes", que muitas vezes pertencem a POPs (Contaminantes Orgânicos Persistentes que se caracterizam pelas suas propriedades de persistência, bioacumulação e toxicidade), com potenciais efeitos adversos para a saúde humana e para os ecossistemas mais vulneráveis cujos efeitos necessitam de investigação, veja-se o recente exemplo com a nova estirpe da E-Coli.

O risco de contaminação de longo prazo dos elementos de origem agrícola necessita de um conhecimento aprofundado sobre a capacidade do solo funcionar como um reservatório de contaminantes orgânicos e inorgânicos sem perder as suas capacidades de produzir biomassa e ser a base de suporte à biodiversidade. Este conhecimento é de grande importância para a compreensão da capacidade de longo prazo para a imobilização de contaminantes. Contudo, perseveram muitas incertezas sobre os processos de mineralização e de metabolismo orgânico. Os elementos inorgânicos também apresentam incógnitas sobre os processos de longo prazo da sua imobilização desconhecendo-se em detalhe se a difusão de elementos, p.e. metais pesados, poderá integrar a longo prazo a estrutura dos minerais do solo ou de matéria orgânica em decomposição.

A monitorização, em termos de escala espacial e temporal, dos diferentes parâmetros que podem ser relevantes para os processos de lixiviação, dificilmente é sempre a mais adequada para todos os parâmetros em simultâneo. Solos e elementos químicos com características diferentes reagem

de forma diferente a processos semelhantes de contaminação, não só como resultado de diversas dinâmicas de movimento do fluxo mas também porque dependem da existência de determinados componentes reactivos aí presentes.

Um outro desafio prende-se com a determinação de que traçadores ambientais deverão ser utilizados para uma melhor compreensão do sistema solo - água.

Finalmente, um outro aspecto onde é necessário o aprofundamento de conhecimentos é a influência que as alterações climáticas poderão ter no uso do solo e de que forma é que essas alterações vão influir no seu funcionamento.

A escala global verificada para fenómenos de contaminação difusa juntamente com o crescente número de substâncias que são detectadas a diversas distâncias da origem, e em períodos de tempo muito diversos, implica que se conheça melhor o papel que solos, em especial os já poluídos, podem ter como filtros e atenuadores da contaminação no ciclo da água. Os solos são, por isso, um elemento-chave da preservação da qualidade da água subterrânea, de superfície e, em última análise, da qualidade da água para consumo humano e para os ecossistemas. Esta visão holística e integrada dos subsistemas solos e água, no contexto do planeamento e da gestão a nível da bacia hidrográfica, é fundamental para a prevenção e controlo da contaminação e para mitigar os impactes da contaminação nos ecossistemas associados, a diferentes escalas.

## **CONTAMINAÇÃO PROVENIENTE DE ESTRADAS E DE AEROPORTOS**

### **Principais questões**

Nas últimas duas décadas, o progresso do sector dos transportes e o aumento da qualidade dos serviços de comunicação constituíram duas linhas de acção estratégica do País, traçadas em 2006, através do Programa de Acção do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT PA, 2006). Houve um conjunto de acções previstas no sentido de melhorar os sistemas e infra-estruturas de suporte à conectividade internacional de Portugal no quadro ibérico, europeu e global, nomeadamente com a implementação do Plano Rodoviário Nacional. Este conjunto de infra-estruturas de transportes e de comunicações, de inegável interesse para o desenvolvimento e para a economia, permitindo corrigir assimetrias regionais, serve para o transporte de pessoas e bens, mas contraditória e simultaneamente formam uma barreira ao movimento de pessoas, de animais e da água no contexto da paisagem, e influencia o ambiente natural de forma complexa.

Do ponto de vista dos recursos hídricos, uma estrada ou uma infra-estrutura aeroportuária interrompem, em diversas secções ou troços, o regime natural do escoamento superficial. Por outro lado, os materiais que constituem as infra-estruturas vêm substituir os solos existentes no local gerando um comportamento diferente em termos hidrológicos, com diminuição da recarga natural e, nalguns casos em que os aquíferos são superficiais, alteração da própria geometria dos aquíferos.

Do ponto de vista da qualidade, há um conjunto de contaminantes (metais pesados: zinco, cobre, chumbo, cádmio, crómio, ferro, níquel, cobalto e vanádio; hidrocarbonetos: hidrocarbonetos

aromáticos policíclicos, e os óleos e gorduras; partículas em suspensão: vidro, plástico e poeira; matéria orgânica: poeira e húmus; e nutrientes: azoto, fósforo e sais) que são gerados pelas estradas, pelos aeroportos e pelo tráfego associado cuja libertação para o ambiente se faz através do transporte aéreo, da percolação através do próprio pavimento (James, 1999, Leitão *et al.*, 2000 e Folkesson *et al.*, 2008) e, essencialmente, através das águas de escorrência das estradas. Uma parte desses contaminantes fica retida junto às estradas acumulando-se na vegetação e nos solos contíguos. Os contaminantes que são transportados pelas águas de escorrência de estradas e outras superfícies pavimentadas (e.g. aeroportos) constituem focos de contaminação difusa linear nas áreas onde se processa a sua descarga, quando não há tratamento prévio.

### **Alguns desafios**

Os principais desafios que se colocam para os dois domínios analisados, i.e., estradas e aeroportos, centram-se: (1) para o caso das estradas, na necessidade de definir, à escala europeia, critérios para caracterizar zonas sensíveis aos contaminantes rodoviários e (2) para o caso dos aeroportos, em metodologias de análise e de avaliação da contaminação de águas subterrâneas e de solos em zonas envolventes de aeroportos.

Os estudos efectuados nas últimas décadas sobre a contaminação das estradas no ambiente permitiram identificar os principais tipos de contaminantes emitidos pela estrada e sua manutenção, e os processos responsáveis pela sua dispersão. Também as metodologias de abordagem visando a minimização na origem, a prevenção e a mitigação da contaminação e um conjunto de medidas infra-estruturais adequadas à minimização da contaminação das águas de escorrência foram identificadas (Brenčič *et al.*, 2007), embora esta área do conhecimento, como outras, se encontre em permanente desenvolvimento, sendo necessário actualizar as actividades de projecto, manutenção e monitorização em função dos resultados que forem sendo obtidos. É necessário continuar os programas de monitorização, durante os períodos de construção e de exploração, de forma a permitir serem conclusivos sobre os potenciais efeitos da contaminação de estradas nos recursos hídricos.

Um dos aspectos mais importantes, que requer coordenação entre investigadores de diferentes países, é a identificação dos locais onde deve ser efectuada a aplicação de medidas de minimização (zonas sensíveis). As zonas sensíveis são entendidas como áreas a proteger, para onde não se devem fazer descargas directas de águas de escorrência de estradas, pelo que o projecto da estrada deve desde logo evitar a sua afectação. Existem no entanto situações onde não é possível evitar tais descargas, devendo-se nesses casos implementar sistemas de tratamento adequados, promovendo a diminuição da contaminação para níveis aceitáveis antes da descarga, de modo a garantir a protecção sustentável do recurso Água, como definido na Directiva-Quadro da Água.

Há, ainda, o desafio de implementar metodologias e procedimentos comuns que possam ser validados para diferentes situações e realidades ao nível da UE e outros países. A proposta deverá permitir diferenciar as áreas onde não se devem efectuar descargas directas de águas de escorrência, os meios onde isso não constitui problema e, ainda, as zonas entre estes dois extremos, que requerem uma avaliação específica através de uma análise casuística.

Em relação à componente da contaminação gerada por aeroportos, existe uma falta de cooperação global com apenas alguns casos de estudo isolados sobre a contaminação de solos e de águas em áreas envolventes. Importa que seja criada uma metodologia de análise desta problemática que possa vir a ser aplicada em alguns aeroportos Portugueses, uma vez que é espectável a presença de contaminantes nas áreas envolventes e, nesse contexto, devem ser tomadas medidas no sentido de minimizar e conter os efeitos dessa contaminação, através de medidas globais de prevenção.

## **CONTAMINAÇÃO COM ORIGEM EM LIXEIRAS**

### **Principais questões**

Segundo estimativas das Nações Unidas são gerados anualmente entre 1 e 1,3 mil milhões de toneladas de resíduos (WWDR 2, 2006). O modelo de funcionamento da sociedade contemporânea não prevê alterações significativas de redução a este respeito, o que conduz a que sejam geradas diariamente enormes quantidades de resíduos sólidos que carecem ser isoladas de forma ambientalmente sustentável. Esta produção de resíduos sólidos apresenta grandes disparidades de país para país e dentro do próprio país, com os EUA a liderarem a lista através de uma produção de cerca de ¼ dos resíduos mundiais. Em 2003, a produção média de resíduos na União Europeia era de 1,6 kg/hab/dia que contrastam com os EUA e o Japão onde este valor chega a atingir os 3 kg/hab/dia. A produção de lixo pelos países mais pobres é muito menor, da ordem dos 0,35 a 0,45 kg/hab/dia.

De acordo com o PERSU II (2007), e com base nos dados obtidos pelo Sistema de Gestão da Informação sobre Resíduos (SGIR), em Portugal Continental a produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) atingiu as 4,5 milhões de toneladas em 2005, ou seja, cerca de 1,24 kg/hab/dia. Este valor cresceu cerca de 1 milhão de toneladas desde 1995, facto que é explicado pelos autores do estudo como o resultado do aumento do consumo e do crescimento económico no País.

Até há pouco mais de uma década, as lixeiras eram a forma mais comum encontrada para a deposição de todo o tipo de resíduos, não só Portugal como também no resto do mundo, sendo uma alternativa rápida, barata mas sem qualquer preocupação ambiental de longo prazo. A questão da gestão de resíduos e a deposição controlada de RSU em aterros sanitários apenas começou a ter expressão na Europa no final do século XX e deixou de ser um problema local para passar a ter regras, modos de concepção e de operação definidos a nível central.

A construção das lixeiras no passado não atendeu às características hidrogeológicas do meio onde se inseriam, pelo que muitas vezes se assiste a situações de poluição que poderiam ter sido evitadas caso se tivesse atendido à necessidade de escolher um ambiente hidrogeológico adequado à protecção das águas subterrâneas, designadamente se houvesse conhecimento sobre a profundidade a que se encontra a água subterrânea, a direcção do fluxo subterrâneo, as componentes horizontal e vertical do fluxo, a identificação de aquíferos presentes e as variações sazonais do nível freático.

Uma das principais ameaças de contaminação através da utilização de lixeiras resulta dos lixiviados produzidos pelo contacto entre os detritos sólidos e a água de circulação, cuja origem

se deve à precipitação, à humidade dos próprios detritos e às águas superficiais e subterrâneas que eventualmente estejam em contacto com os materiais depositados. Estas foram e são uma importante fonte de contaminação de solos e de águas subterrâneas em diversas regiões de Portugal.

Nas últimas décadas, após a tomada de consciência do efeito que os depósitos de resíduos sólidos em lixeiras constituem para o ambiente, foram construídas novas infra-estruturas que permitiram o seu isolamento do meio natural envolvente, e também foi privilegiada a opção do destino dos resíduos ser só em última análise enviado para depósito, valorizando alguns desses resíduos e minimizando os lixos produzidos em geral, através da sua reutilização, reciclagem ou redução.

### **Alguns desafios**

A composição dos lixiviados em lixeiras ou aterros e os seus potenciais efeitos nos solos e nas águas subterrâneas envolventes depende da própria composição dos RSU nelas depositados. O desconhecimento dos resíduos, em especial no caso das lixeiras em Portugal - onde além dos resíduos domésticos foram também depositados resíduos hospitalares, industriais, e mesmo perigosos, para além de lamas e outras sucatas, demolição e construção, animais mortos etc. - conduz a que muitos dos contaminantes não estejam identificados nem quantificados, desconhecendo-se, por isso, as implicações para o Homem e restantes ecossistemas.

A informação existente no País é limitada e encontra-se dispersa por trabalhos realizados de uma forma não coordenada. Importa classificar a informação existente e incluí-la numa base de dados em SIG onde seja concentrada toda a informação relevante sobre as diversas lixeiras encerradas em Portugal, de modo a efectuar um ponto de situação do actual estado de contaminação dos solos e das águas subterrâneas das áreas envolventes, alguns anos após o seu encerramento.

Um dos principais desafios neste domínio é aprofundar a análise de risco associado a antigas lixeiras e apresentar medidas de reabilitação apropriadas ao estado das lixeiras a analisar, bem como a outras lixeiras que apresentem condições equivalentes. Para esse efeito propõe-se escolher um conjunto de situações representativas das condições geológicas, hidrogeológicas, topográficas e climáticas onde seja caracterizada a efectiva dimensão das plumas de contaminação e caracterizada a capacidade natural de atenuação dos contaminantes que é proporcionada por cada meio hidrogeológico, face às restantes condições existentes. Importa encontrar uma forma de extrapolar esta informação por forma a acelerar os processos de reabilitação nos locais que se apresentem em situações equivalentes.

## **CONTAMINAÇÃO POR CATÁSTROFES NATURAIS: FOGOS FLORESTAIS**

### **Principais questões**

As características da Europa Mediterrânica, designadamente a sua localização geográfica, o clima de temperaturas elevadas no Verão e variabilidade interanual da precipitação, juntamente com o modelo de ordenamento agrícola e florestal, o abandono dos sistemas tradicionais de exploração

da terra, os inadequados padrões de uso do solo, bem como uma reflorestação frequentemente inadequada, propiciam as condições necessárias para que esta região seja particularmente afectada pelos fogos florestais.

Países como Portugal, Espanha, Itália, França e Grécia são os Estados-Membros da União Europeia com maior índice de risco de deflagração de incêndios florestais e onde se registam as maiores perdas em termos de área florestal ardida. Os países mediterrânicos contribuíram com 94% da área total queimada da Europa, de acordo com dados estatísticos para os anos entre 1975 e 2000 analisados pelo Instituto Europeu da Floresta (Xanthopoulos *et al.*, 2006). A média da área total queimada nestes países quadruplicou desde 1960. Todos os anos mais de 50 000 fogos queimam uma área entre 600 000 e 800 000 ha, uma área comparável à ilha da Córsega, que representa 1,3% – 1,7% do total da floresta Mediterrânica (Olivella *et al.*, 2006).

Segundo MADRP (2006) e Pereira *et al.* (2004) (in PDR 2007-2013), os incêndios em Portugal são um problema crescente nas últimas décadas, resultante do abandono da actividade agrícola e da criação de áreas contínuas de matos e de florestas, o que conduziu à criação de elevadas taxas de acumulação de biomassa na floresta que tradicionalmente vinha sendo usada como lenha ou nas camas de animais. Por outro lado, a divisão de propriedade encontra-se extremamente fragmentada, em especial nas regiões florestadas com maior risco de incêndio, o que dificulta a prevenção e a gestão de incêndios.

Os fogos têm como consequência directa a redução, ou mesmo o desaparecimento, da biomassa florestal cujos efeitos se fazem sentir na diminuição da capacidade de retenção de água pelos solos e de infiltração, expondo-os à erosão e provocando o arrastamento de matéria fina, nomeadamente das próprias cinzas do fogo, para as linhas de água mais próximas ou a sua infiltração no solo.

Os fogos florestais também induzem importantes alterações ao nível da qualidade dos solos e das águas. Efectivamente, a composição dos solos sofre alterações após um incêndio como resultado de alterações na própria estrutura dos solos e também pela lixiviação das cinzas através do solo. A quantidade de cinzas depositadas depende das condições de queima da própria composição, do material vegetal que é queimado, do peso e da distribuição espacial da vegetação queimada, do seu grau de combustão e do subsequente transporte de resíduos. Os elementos poluentes resultantes dos fogos florestais incluem os grupos de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs), de elementos maiores (e.g. cloreto, sulfato, bicarbonato, nitrato, fluoreto, fosfato, cálcio, magnésio, sódio e potássio) e de metais pesados (e.g. manganés, zinco e cobre).

### **Alguns desafios**

O vasto trabalho de investigação realizado nos últimos anos tendo em vista a prevenção e a mitigação, não impede que os fogos florestais continuem a ser um problema crescente em diversos países Europeus da zona mediterrânica, nomeadamente a Península Ibérica. Devido ao aquecimento global, a questão dos fogos na Europa poderá deixar de ser um problema estritamente da Europa Mediterrânica para vir a alastrar-se à Europa Central e do Norte.

Os diversos trabalhos de investigação desenvolvidos centram-se em quatro vertentes distintas que incluem a análise de:

- características dos fogos florestais (e.g. quantidade de energia libertada, tempo de residência, comprimento das chamas), do regime do fogo (e.g. dimensão, tempo de retorno) e das cinzas produzidas em diversos contextos de clima, topografia e geologia;
- efeito dos fogos na flora e na fauna;
- efeito dos fogos nas características físicas e químicas dos solos e das águas e
- medidas de mitigação pós-fogo, no âmbito das componentes: flora, fauna, solos e águas.

Existem diversos outros aspectos que requerem uma investigação mais aprofundada por forma a ultrapassar o elevado grau de incerteza e variabilidade nas respostas do meio ambiente às diferentes características do fogo, nomeadamente incorporando as eventuais alterações nas características e no regime dos fogos que possivelmente decorrerão das alterações climáticas.

Dentro dos aspectos de quantidade e de qualidade dos solos e das águas há a considerar as questões relacionadas com: (1) a erosão dos solos; (2) a alteração do ciclo da água (com alteração da capacidade de infiltração e com alteração de caudais superficiais) e (3) as alterações à qualidade dos solos e das águas.

A análise da erosão do solo pós-fogo e do desmoronamento de terras implica a realização de análises de vulnerabilidade e o desenvolvimento de modelos de previsão, fundamentais no suporte à tomada de decisão no que concerne a reabilitação de emergência de áreas ardidas.

A capacidade de prever a magnitude e a duração de alterações à qualidade dos solos e da água é ainda limitada, sendo necessário aumentar o conhecimento relativo aos efeitos do fogo nas propriedades químicas dos solos, de forma a permitir uma melhor gestão de incêndio em todos os ecossistemas de forma geral, e em particular daqueles que dependem dos solos.

Phoenix (2007) sugere uma linha de investigação onde sejam identificadas e compreendidas as relações entre as características do comportamento do fogo florestal e os efeitos do fogo nos solos, no ciclo do carbono (armazenamento e libertação) e no ciclo dos nutrientes. No triângulo planta – erosão – qualidade da água (superficial e subterrânea) perceber qual é a ligação entre os nutrientes libertados pela planta durante o incêndio (cinzas) com os solos e água. Neste âmbito, propõe-se o estudo de quais os nutrientes que ficam retidos, quais os que lixiviam, como se relacionam entre si, com o meio onde se encontram e com as plantas existentes na área de estudo.

Em síntese, as questões-chave a serem investigadas são a avaliação da eficiência e das limitações das várias técnicas de gestão pós-fogo, a conservação do solo e da água, a recuperação da qualidade dos solos (medidas de correcção dos solos) e das suas propriedades, a reflorestação (selecção das espécies vegetais, sistemas radiculares), o solo, o escoamento superficial e a qualidade da água.

# ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

## Principais questões

Os impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos podem ser directos, quando resultam directamente das alterações climáticas, ou indirectos, quando resultam de modificações dos sistemas económico-social induzidas pelas alterações climáticas (Cunha *et al.*, 2006). A possível evolução da qualidade das águas subterrâneas está directamente ligada aos principais processos esperados para a evolução deste recurso do ponto de vista da quantidade, por sua vez está dependente da sua interligação com o escoamento superficial e com algumas variáveis do clima. Apresenta-se uma síntese dessa análise na Figura 1.

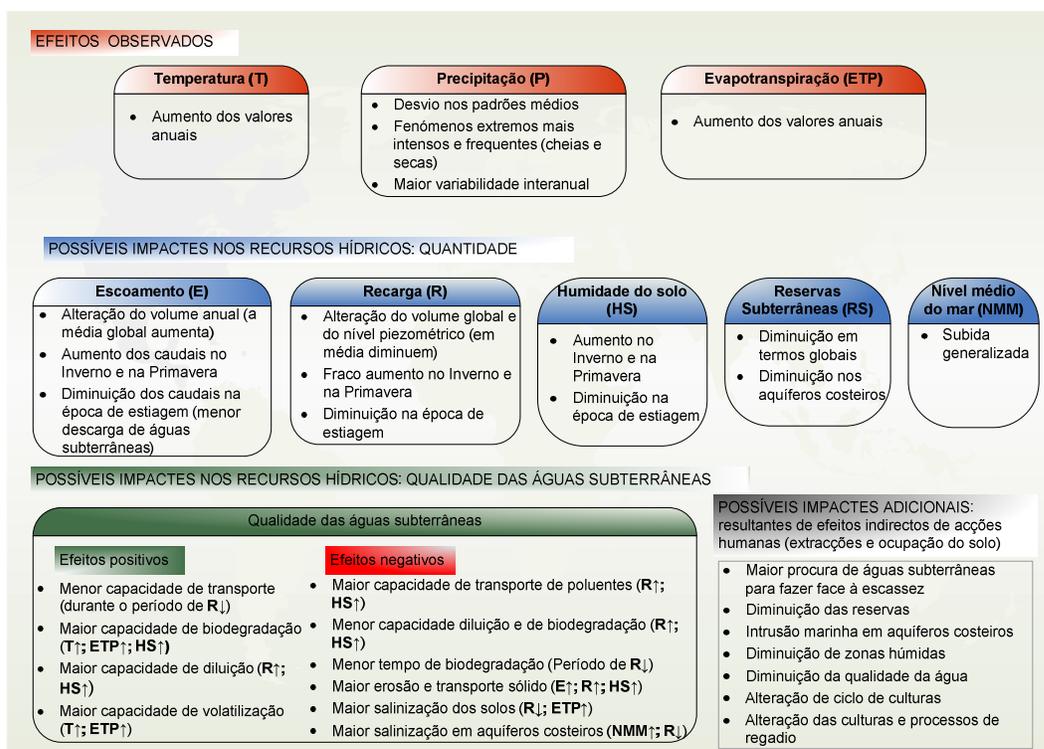


Figura 1- Síntese dos principais efeitos das alterações climáticas e seus possíveis impactes nos recursos hídricos (Leitão, 2010)

Embora a informação sobre a potencial evolução da qualidade das águas subterrâneas como resultado das alterações climáticas seja muito escassa, procurou-se, com base na análise de diversos estudos realizados à escala global (Gleick *et al.*, 2001; IPCC, 2007 e Bates *et al.*, 2008), em estudos regionais realizados em diversos países e nos resultados obtidos em diversos estudos para Portugal (Nascimento *et al.*, 2004; Nascimento *et al.*, 2005; Cunha *et al.*, 2006; Oliveira, Novo e Lobo Ferreira, 2007 e Novo, 2007) examinar os principais efeitos que seriam expectáveis vir a ser observados na componente da qualidade das águas subterrâneas face aos cenários esperados para o clima e os recursos hídricos *sensus lato*.

## Alguns desafios

O principal desafio neste domínio é melhorar o conhecimento da relação entre os modelos de alterações climáticas e as suas relações com o ciclo hidrológico para escalas que sejam relevantes aos decisores. Desde logo existem múltiplas lacunas de conhecimento em termos de dados de base, espacial e temporalmente representativos, sobre as variáveis das alterações climáticas.

Por outro lado, as implicações das alterações climáticas nos recursos hídricos relativamente à qualidade das águas, aos ecossistemas aquáticos e às águas subterrâneas encontram-se insuficientemente estudados a nível global e também em Portugal.

Um outro aspecto crucial prende-se com a questão da integração de todos os aspectos referidos, designadamente com a dimensão socioeconómica, que peca pela ausência de instrumentos integradores e facilitadores de troca de informação entre sectores inter-relacionados e interdependentes que no seu conjunto permitam uma melhor adaptação e mitigação de efeitos.

O domínio das águas subterrâneas, apesar da sua comprovada importância, têm recebido pouca atenção na análise dos efeitos das alterações climáticas quando comparadas com as águas superficiais (Bates *et al.*, 2008). É necessária mais informação de base sobre a qualidade e quantidade da água, e o seu uso de forma a conhecer melhor as suas implicações nos processos de recarga e de balanço hídrico.

O uso conjunto de águas subterrâneas e superficiais para satisfazer a procura de água tem sido frequentemente referido como uma solução integrada para fazer face a um abastecimento crescente. Um dos aspectos fulcrais a considerar para a sustentabilidade desta medida é a utilização de recarga artificial de aquíferos nas alturas em que há excedente de águas superficiais, por exemplo as cheias cuja recorrência se prevê venha a ser ainda maior em Portugal, ou outras fontes alternativas. Esta temática tem vindo a ser abordada em Portugal através dos projectos Gabardine (cf. [http://www.lnec.pt/organizacao/dha/organization/dha/nas/estudos\\_id/gabardine](http://www.lnec.pt/organizacao/dha/organization/dha/nas/estudos_id/gabardine)) e da Acção de Coordenação ASEMWaterNet (cf. [http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nas/estudos\\_id/asemwaternet](http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nas/estudos_id/asemwaternet), Oliveira 2007 e Oliveira, Novo e Lobo Ferreira, 2007), ambos desenvolvidos no LNEC, para casos de estudo no Algarve. A questão da utilização da zona vadosa para melhoria das águas em bacias de infiltração, evitando a recarga directa em furos, é um aspecto de grande interesse visando a melhoria da água infiltrada relativamente a um conjunto de potenciais contaminantes emergentes habitualmente não tratados, como o caso de disruptores endócrinos.

Atendendo à informação existente sobre a qualidade das águas subterrâneas em Portugal, quer para períodos de seca quer para períodos de cheia, cuja ocorrência é aleatória mas recorrente com vários episódios por década, importa efectuar a sua análise visando estudar eventuais tendências de qualidade observadas para diferentes períodos, incluindo sistemas com diferentes características de permeabilidade e de vulnerabilidade e sujeitos a condições climáticas diferentes. Essa análise poderá constituir um ponto de partida para o estudo dos efeitos das alterações climáticas na qualidade dos recursos hídricos permitindo, eventualmente, extrapolar ou determinar uma metodologia adequada para simular o efeito dos cenários previstos na qualidade dos recursos hídricos subterrâneos.

## OBJECTIVOS E MEDIDAS PARA AS MASSAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO TEJO: APLICAÇÃO AO SISTEMA AQUÍFERO DE MONFORTE – ALTER DO CHÃO

No âmbito do trabalho do PGRH Tejo de caracterização da região hidrográfica em curso para a ARH Tejo, cuja área e massas de águas subterrâneas são apresentadas na Figura 2 foi identificado o estado químico e tendências para o aquífero de Monforte – Alter do Chão.

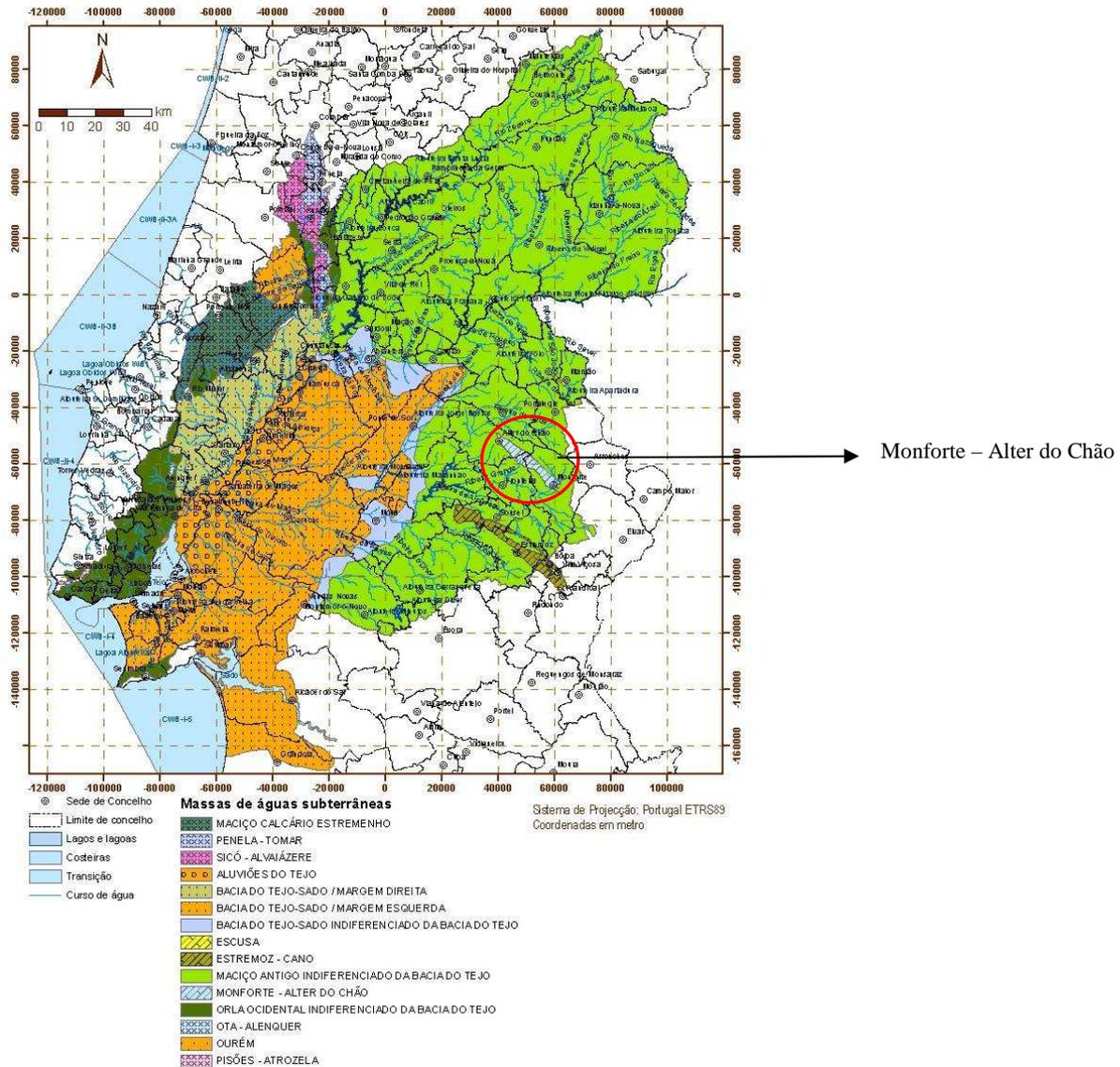
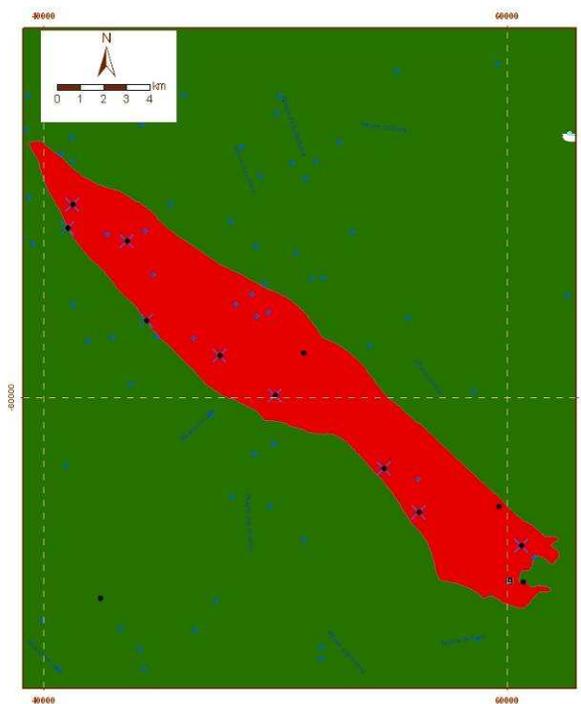


Figura 2 – Massas de água subterrânea do Plano de Gestão de Região Hidrográfica do Tejo (Lobo Ferreira *et al.*, 2011)

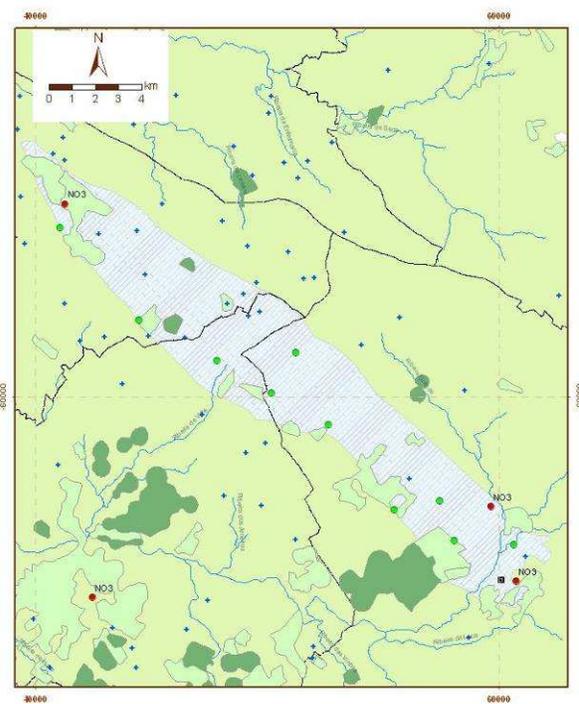
A análise do estado químico revelou que 3 dos 13 pontos (23%) analisados na massa de águas subterrâneas Monforte - Alter do Chão apresentam valores médios de  $\text{NO}_3^-$  superiores à Norma de Qualidade da Água (NQA) e 21 % das amostras estão acima da NQA, pelo que o seu estado é considerado medíocre. A Figura 4 apresenta o resultado da avaliação do estado químico. As tendências mostram descida para o nitrato.



**Legenda**

- RedeBase\_ARHs\_Qual\_Vig PGRH Tejo
- + WISE Rede\_Qual\_Operacional
- × WISE Rede\_Qual\_Vigilancia\_ARHs
- Curso de água

Sistema de Projeção: Portugal ETRS89  
Coordenadas em metro.



**Legenda**

- |                             |                                  |          |
|-----------------------------|----------------------------------|----------|
| EQ_Medioere_Final_PGRH Tejo | tejo-areas-agricolas-aneais      | Bovinos  |
| EQ_Bom_Final_PGRH Tejo      | tejo-areas-agricolas-permanentes | Lixeiras |

Sistema de Projeção: Portugal ETRS89  
Coordenadas em metro.

Figura 3 – Síntese do Estado Químico geral medíocre da massa de Monforte – Alter do Chão (Lobo Ferreira *et al.*, 2011)

Figura 4 – Comparação por ponto de água entre a média do elemento e as NQA ou limiares [bola verde = médias de todos os elementos < NQA ou LQ; bola vermelha = pelo menos um elemento com valor médio superior (Lobo Ferreira *et al.*, 2011)

Na Figura 4 pode, ainda verificar-se que as pressões localizadas a montante dos pontos de água analisados, potencialmente responsáveis pelo estado medíocre resultante da presença de nitrato, são essencialmente as actividades agro-pecuárias mas não só. Sintetizam-se as principais pressões em:

- Actividade agrícola, responsável pela entrada de 2,90 tonN/km<sup>2</sup>/ano;
- Bovinicultura, responsável pela entrada de 2,71 tonN/km<sup>2</sup>/ano;
- Fossas sépticas, nomeadamente de Monforte e de Alter do Chão;
- Lixeira encerrada de Monforte, onde se observa a presença de uma lagoa que poderá facilitar a entrada de poluentes no meio carbonatado (potenciais poluentes: benzeno; Cd, Pb e Hg e outros metais pesados; antraceno, fluoranteno e outros PAH; éter defínílico bromado e DEHP; cianetos, fenóis e CO halogenados).

Estas actividades estão em consonância com os valores elevados observados em nitratos. Na Figura 5 apresenta-se a sua variação na última década, onde é possível observar uma tendência de

decréscimo e também uma forte oscilação para dois dos furos sem uma clara correlação sazonal.

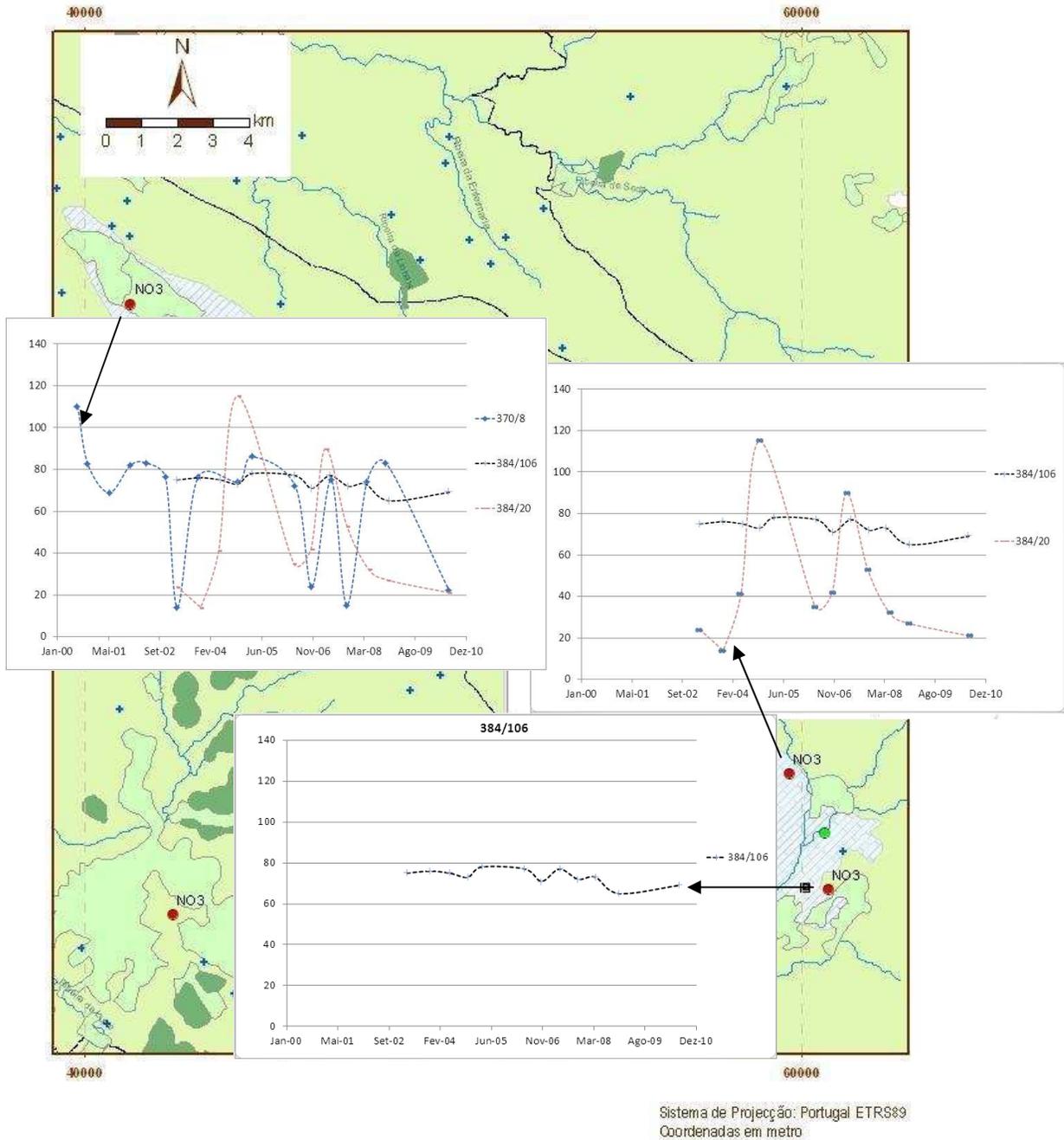


Figura 5 – Variação da concentração em nitratos (em mgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L) nos três furos com valor médio acima da NQA

Na Figura 6 é possível observar a variação dos nitratos nos restantes furos desta massa de águas subterrâneas. Pode-se observar a existência de valores elevados em diversos outros furos, com concentrações próximas, embora abaixo, dos 50 mgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L.

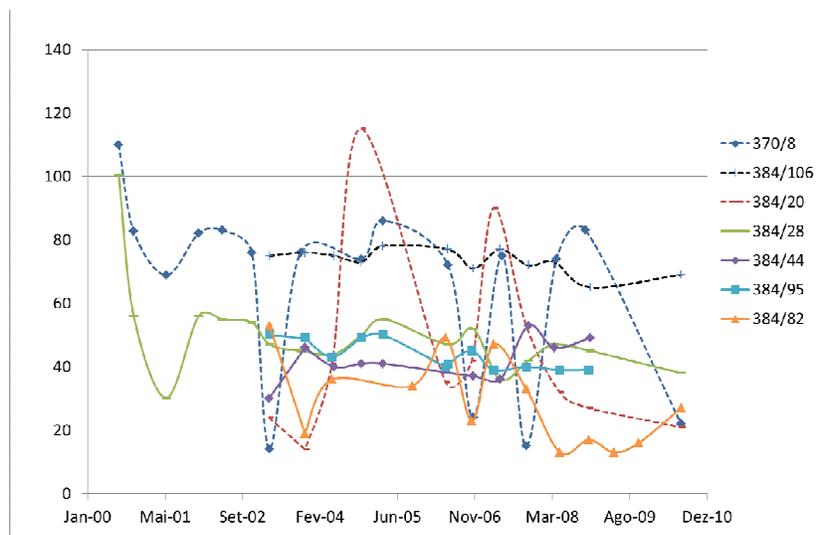


Figura 6 – Variação da concentração em nitratos (em  $\text{mgNO}_3^-/\text{L}$ ) em diversos furos da massa de águas subterrâneas de Monforte – Alter do Chão

Tendo em conta o apresentado, o objectivo que melhor se parece ajustar ao actual estado e às pressões existentes é de se poder atingir o estado Bom já em 2015, sem aplicação de derrogações ou prorrogações. Esta opção deriva do facto de (1) por um lado, os problemas de qualidade terem sido detectados apenas para o ião nitrato, (2) a tendência estatisticamente significativa deste parâmetro ser já decrescente e (3) o aquífero ser carbonatado, pelo que apresenta boa dinâmica de escoamento. Contudo não há informação relativa a alguns parâmetros, como metais pesados, TCE, PCE e pesticidas, o que poderá vir a diagnosticar outras questões.

Os objectivos e medidas de base propostos vão no sentido de permitir restabelecer o Bom estado de qualidade, visando o cumprimento dos objectivos estratégicos e ambientais.

Referem-se algumas das medidas propostas para análise e discussão pública para a prevenção e o controlo da poluição, visando atingir o Bom estado químico (Lobo Ferreira *et al.*, 2011a):

- Medidas relativas à prevenção e controlo integrado de poluição:
  - Fiscalização do cumprimento das Licenças Ambientais de indústrias identificadas com descargas.
  - Controlo da qualidade das águas residuais industriais descarregadas relativamente aos parâmetros responsáveis pelo estado medíocre da massa de água subterrânea.
  - Identificação e avaliação dos riscos de poluição associados às indústrias identificadas.
  - Cartografia de potenciais situações de ocorrência de casos de poluição ambiental de acordo com a vulnerabilidade e os perímetros de protecção das captações de água subterrânea (boviniculturas).
- Medidas destinadas à protecção das massas de águas subterrâneas em áreas de aterros (e de antigas lixeiras):
  - Acompanhamento das condições de monitorização dos recursos hídricos em

- áreas envolventes de aterros e antigas lixeiras seladas.
- Acompanhamento da implementação de medidas correctivas, de pontos suplementares de controlo da qualidade das águas subterrâneas e de um programa de reposição das condições ambientais, caso se verifique uma variação significativa ou valores elevados na qualidade das águas subterrâneas.
  - Medidas relativas a produtos fitofarmacêuticos e produtos biocidas:
    - Elaboração e aprovação de legislação que transponha a Directiva Comunitária n.º 2009/128/CE, relativa ao uso sustentável dos pesticidas.
    - Desenvolvimento de acções de divulgação e formação, dirigidas a agricultores, focadas nas melhores práticas de protecção fitossanitária para as diferentes culturas, tendo em vista a não degradação das águas subterrâneas e solos.
    - Apresentação do Plano de Acção Nacional, definindo objectivos quantitativos, metas, medidas e calendários de implementação visando: (i) reduzir os riscos e impactes do uso de pesticidas; (ii) desenvolver e introduzir práticas de protecção integrada e abordagens alternativas para garantir a saúde fitossanitária.
    - Aumento da fiscalização do uso de pesticidas nas actividades industriais e agropecuárias.
  - Medidas relativas às águas residuais urbanas:
    - Fiscalização do cumprimento das normas de descarga de águas residuais para actividades licenciadas, no que respeita a sua composição físico-química.
    - Aumento da eficácia da fiscalização nas descargas de efluentes domésticos através da sistematização da informação.

Um dos principais desafios para se atingir o Bom estado químico é conseguir integrar (enquanto parte da solução) as entidades implicadas nas pressões, esclarecendo a vantagem, e obrigação, de corrigir esta situação através da aplicação de medidas cujos efeitos serão lentos, mas que se esperam eficazes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos - objecto de análise nos Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica em curso - é um processo complexo, na medida em que implica que se conjuguem requisitos legais com exequibilidade técnica, conhecimento científico e aspectos socioeconómicos, o que exige a consulta e a interligação entre múltiplos actores que actuam num mesmo domínio físico (políticos, administração central e local, investigadores, actores (*stakeholders*), indústria, agricultura, ONG's, entre outros). Este modelo exige uma transparente e solidária articulação das políticas públicas e uma clara definição das competências e coordenação de iniciativas dos vários responsáveis pela administração do território, onde se reconheçam as dimensões de natureza ambiental, ética, social e económica.

O principal desafio que se coloca aos investigadores é conseguir dar a conhecer o funcionamento do sistema de forma a permitir aos decisores e gestores tomarem as decisões de forma cientificamente baseada e tecnicamente fundamentada.

Nesta comunicação apresentou-se uma síntese de alguns dos aspectos fundamentais da poluição de águas subterrâneas, em termos das principais forças motrizes e pressões a que estão sujeitos, elencando alguns dos principais desafios e linhas de actuação que, em nosso entender, devem ser porfiadas para obter a informação necessária e para promover adequadas formas de governança. Apresentou-se, ainda, um exemplo de aplicação ao caso da massa de águas subterrâneas de Monforte – Alter do Chão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRENČIČ, M., BAEKEN, T., DAWSON, A., FRANCOIS, D., FOLKESON, L., LEITÃO, T. (2008). "Chapter 12 - Pollution Mitigation", in "Water Movement in Road Pavements and Embankments", ed. Dawson, 2007, Springer Verlag, pp. 283-298.

BATES, B.C., KUNDZEWICZ, Z., WU, S., e PALUTIKOF, J. (2008). *Climate Change and Water*. Grupo de Trabalho II do Intergovernmental Panel on Climate Change, Secretariado do IPCC, Geneva, 210 pp.

CUNHA, L.V., RIBEIRO, L., OLIVEIRA, R.P. e NASCIMENTO, J. (2006) - *Recursos Hídricos*, in "Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação". Projecto SIAM II, eds. F.D. SANTOS e P.MIRANDA, pp. 115-168.

FOLKESON, L., BAEKEN, T., BRENČIČ, M., DAWSON, A., FRANCOIS, D., KURIMSKA, P., LEITÃO, T., LIČBINSKY, R., VOJTEČEK, M. (2008). "Chapter 6 - Contaminants of Water in the Pavement". In: Dawson, 2008: "Water Movement in Road Pavements and Embankments". Springer Verlag, pp. 107-146.

GLEICK, P.H., SINGH, A. e SHI, H. (2001). *Threats to the World's Freshwater Resources*. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security (<http://www.pacinst.org> e <http://www.worldwater.org>), Oakland, California, 59 pp.

INAG (2007). *Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais. Sistemas Públicos Urbanos. Campanha INSAAR 2005*. Instituto da Água, Abril de 2007, 150 pp.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

JAMES, C. (1999) – *The Impact of Pollutants from Roads and Vehicles on the Local Environment*. POLMIT Project Report, PR/SE/603/99, RO-97-SC.1027, Transport Research Laboratory, 131 pp.

LEITÃO, T. E., LEHMANN, N., SMETS, S., LOBO FERREIRA, J. P. C. e HOLM, P. (2000). *WP2/4 Pollution from Roads and Vehicles and Dispersal to the Local Environment: Mass Flux and Mass Balance Calculations; Assessment of Pollution of Groundwater and Soils by Road and Traffic Sources*. LNEC e VKI, 47 pp.

LEITÃO, T.E. (2010). *Gestão Integrada e Sustentável da Qualidade das Águas Subterrâneas em Portugal. Contributos para um Bom Estado em 2015*. Trabalho apresentado para obtenção do Título de Habilitado para o exercício de funções de coordenação de investigação científica, publicado nas Teses e Programas de Investigação do LNEC, TPI 63, ISBN 978-972-49-2191-4, Lisboa, 2010, 346 pp.

LOBO FERREIRA, J.P., PINTO, I.V., 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., HENRIQUES, M.J., SILVA, D., OLIVEIRA, L., RICARDO MARTINS, MONTE, M., MARTINS, J., BRACEIRO, A., HENRIQUES, R.S., QUARESMA, M. (2011) - *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo. Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos - Síntese para Consulta Pública do PGRH Tejo*. Rel. Hidroprojecto-LNEC-ICCE, Maio 2011, 57 pp.

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., LEAL, G. (2011a) - *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do*

Tejo. Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos - Segunda Versão dos Conteúdos do PGRH Tejo. Parte 6. Relatório Hidroprojecto-LNEC-ICCE, PGRH Tejo, Maio de 2011, 52 pp.

NASCIMENTO, J., RIBEIRO, L., CUNHA, L.V. e OLIVEIRA R. (2004). *Impacto das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos Subterrâneos de Portugal Continental. Alguns resultados preliminares*. 7.º Congresso da Água, organizado pela Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2004, 15 pp.

NASCIMENTO, J., RIBEIRO, L., CUNHA, L.V., e OLIVEIRA, R. (2005). *Efeitos das Alterações Climáticas na Disponibilidade Hídrica e na Qualidade da Água Subterrânea da Região Alentejo*. Comunicação apresentada ao 7.º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Évora, 16 pp.

NOVO, M. E. (2007). *Alterações Climáticas e seus Impactos nos Recursos Hídricos Subterrâneos em Ilhas de Pequena Dimensão (Caso de Estudo: Açores – Ilha Terceira)*. Tese de Doutoramento em Engenharia do Ambiente, Angra do Heroísmo, Fevereiro de 2007, 290 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.

OLIVEIRA, L. G. S. (2007). *Soluções para uma Gestão Adequada de Bacias Hidrográficas e de Sistemas Aquíferos, em Cenários de Escassez Hídrica Extrema*. Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil e apresentada ao Instituto Superior Técnico para a obtenção do grau Mestre em Engenharia do Ambiente. Lisboa, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.

OLIVELLA, M.A., RIBALTA, T.G., FEBRER, A.R., MOLLET, J.M., LAS HERAS, F.X.C. (2006). *Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Riverine Waters after Mediterranean Forest Fires*. The Science of the Total Environment 355, 156-166.

PDR 2007-2013. *Plano Estratégico Nacional do Desenvolvimento Rural 2007-2013*, MADRP, 2007, 93 pp.

PEAASAR (2006). PEAASAR 2007/13. *Plano Estratégico de Abastecimento de Águas e Saneamento de Águas Residuais*, 171 pp.

PNPOT PA (2006). *Programa de Acção do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território*, MAOTDR, Fevereiro de 2006, 96 pp.

PNPOT (2006). *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território*, anexo à Lei n.º 58/2007, de 4 de Setembro, 155 pp.

PNUEA (2001). *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, Versão Preliminar*. Estudo elaborado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) com o apoio do Instituto Superior de Agronomia (ISA). Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e Instituto da Água, 212 pp.

PHOENIX (2007). *Possible Research Directions in Natural Hazards Research*. Wildfire research (in the context of climate change and multi-hazard perspectives).

QUEVAUVILLER, P. (2005). *Groundwater monitoring in the context of EU legislation: reality and integration needs*. Journal of Environmental Monitoring.

Vall, M.P. e Vidal, C. (1999). *Nitrogen in agriculture*.  
[http://europa.eu.int/comm/agriculture/envir/report/en/nitro\\_en/report.html](http://europa.eu.int/comm/agriculture/envir/report/en/nitro_en/report.html).

VRBA, J. and LIPPONEN, A. (2007) – *Groundwater Resources Sustainability Indicators*. International Hydrological Programme – VI. Series on Groundwater, n.º 14, UNESCO, IHP/2007/GW-14.

WWDR 2 (2006). *Water a Shared Responsibility - The United Nations World Water Development Report 2*, 601 pp. (<http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/>).