

# IMPACTE DOS FOGOS FLORESTAIS NA QUALIDADE DA ÁGUA. ALGUNS EXEMPLOS EM PORTUGAL

Teresa E. LEITÃO

*Doutora em Hidrogeologia, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, 218 443 802, tleitao@Inec.pt*

Isabel LARANJEIRA

*Eng.ª Agrícola, colaboradora no Núcleo de Águas Subterrâneas em 2006/08, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal*

João Paulo LOBO FERREIRA

*Doutor em Engenharia Civil, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, 218 443 609, lferreira@Inec.pt*

## RESUMO

Os fogos florestais aumentam o risco da degradação física, química e biológica dos solos e a poluição dos recursos hídricos de jusante.

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 da 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 e/ou a sua infiltração no solo.

Além dos processos físicos de erosão, os fogos florestais induzem também importantes alterações na qualidade dos solos e das águas, através da produção das cinzas, sendo um dos principais processos associados o efeito da queima no ciclo dos nutrientes. A quantidade de cinzas depositadas depende do peso e da distribuição espacial da vegetação queimada, do seu grau de combustão e do subsequente transporte de resíduos. A produção de cinzas e as alterações verificadas nos solos após um incêndio são reflectidas na qualidade das massas de água de jusante, superficiais e subterrâneas, após eventos de precipitação.

Apresenta-se uma síntese de alguns dos resultados do projecto POCTI/AGR/59180/2004 – “Avaliação do impacte dos fogos florestais nos recursos hídricos subterrâneos” coordenado pelo LNEC, com a participação da Escola Superior Agrária – Instituto Politécnico de Castelo Branco, do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, relativos à componente da qualidade da água registada em estações de monitorização localizadas em afluentes das bacias aridas e não aridas (Laranjeira e Leitão, 2008; Lobo Ferreira *et al.*, 2009; Leitão, 2010).

**Palavras-chave:** Fogos florestais, qualidade, águas subterrâneas.

## 1 INTRODUÇÃO

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.

O Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI) refere que, desde 1980, arderam em Portugal mais de 2,7 milhões de hectares, dos quais 1,4 mha foram de área arborizada. A Fig. 1 apresenta as áreas ardidadas entre os anos 1997-2004. No PDR 2007-2013 refere-se que entre 1975 e 2003 as áreas ardidadas anualmente quadruplicaram. Os cenários reconhecidos das alterações climáticas apontam para o agravamento deste tipo de situações.

Por outro lado, a Comissão Nacional de Coordenação do Plano de Acção Nacional de Combate à Desertificação (CNC / PANCD), apela à necessidade de reduzir e contrariar as causas e os efeitos da desertificação (com perda de solo e erosão), em especial nos anos com níveis de precipitação anormalmente baixos onde a escassez de água e as elevadas temperaturas podem agravar o risco de incêndios.

Para apoiar o planeamento de medidas de prevenção aos fogos florestais, assim como a optimização dos recursos e infra-estruturas disponíveis para a defesa e combate aos fogos florestais, foi produzida a Cartografia de Risco de Incêndio Florestal (CRIF), um projecto da responsabilidade do Instituto Geográfico Português, em conjunto com Autoridade Nacional de Protecção Civil e a Direcção-Geral dos Recursos Florestais (Fig. 2). A carta foi produzida através da atribuição de uma ponderação a cada critério considerado como relevante para a determinação da variabilidade espacial do risco de incêndio: ocupação do solo, declives, rede viária (aqui inclui-se linhas de alta/média tensão e rede ferroviária), exposição ao sol e densidade populacional.

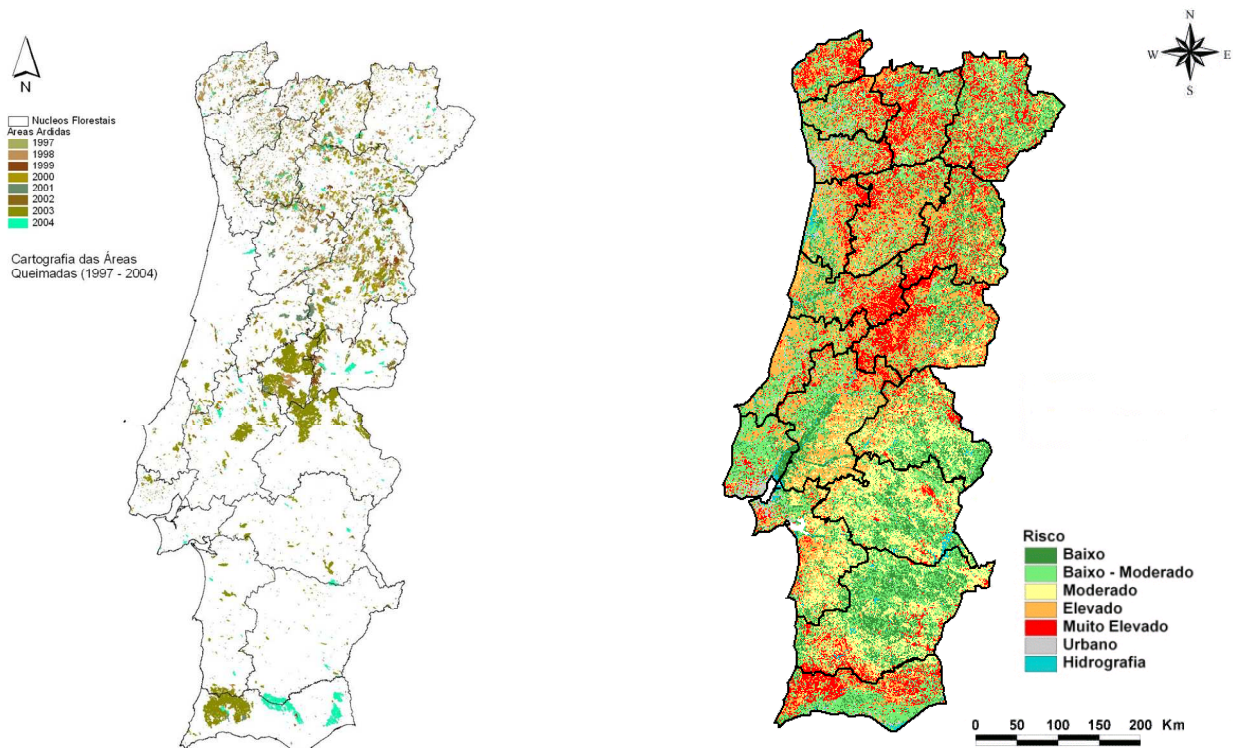


Fig. 1 - Mapas de áreas ardidadas entre 1997-2004

Fig. 2 - Carta de Risco de Incêndio Florestal em 2008

(extraído de Direcção-Geral de Recursos Florestais, <http://www.dgrf.min-agricultura.pt/portal/prevencao-a-incendios-dfci/informacoes/cartografia/mapas-de-areas-ardidas>)

(extraída de <http://mapas.igeo.pt/>)

Esta carta é complementar à Carta de Risco Conjuntural de Incêndio Florestal (CRCIF) produzida anualmente pelo Instituto Superior de Agronomia (ISA) para a Direcção-Geral de Recursos Florestais que indica as zonas que se encontram em maior risco de arder em cada ano. Esta carta é realizada com base nas áreas ardidadas nas últimas duas décadas, na taxa de crescimento da biomassa desde os fogos mais recentes e no estado da vegetação no final do mês de Maio (*i.e.*, se a vegetação se encontra mais seca ou mais húmida).

O Instituto de Meteorologia (IM) também desenvolve Cartografia de Risco de Incêndio que aborda a probabilidade de ocorrência de um fogo no próprio dia e nos dias seguintes. O IM encontra-se a desenvolver o Índice de Risco de Incêndio (FWI – Fire Weather Index) que agrega diferentes componentes, onde se incluem por exemplo o índice de combustível disponível e o índice de seca.

Neste artigo são analisadas as principais consequências dos fogos florestais nas componentes que afectam os recursos hídricos, i.e. o aumento da erosão do solo, que reduz a produtividade das florestas em determinadas áreas e causa a desertificação de novas áreas, e conduz à contaminação da água pondo em causa a sobrevivência das espécies que dependiam dos seus recursos (Proença *et al.*, 2006, in PDR 2007-2013). Na secção seguinte apresenta-se uma breve descrição dos domínios considerados mais importantes, repartindo-os em processos físicos e químicos. Por fim, analisam-se, com base em dados obtidos em casos de estudo, diversos aspectos da degradação física e química dos solos e dos recursos hídricos de jusante.

## 2 PRINCIPAIS CONSEQUÊNCIAS DOS FOGOS FLORESTAIS NA QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

### 2.1 Aspectos físicos

O aquecimento originado pelos fogos florestais é responsável pela alteração de importantes características físico-químicas dos solos, cujos efeitos se fazem posteriormente sentir nas características das águas a jusante. Estas alterações devem-se à destruição da estrutura base dos solos que se repercute ao nível da diminuição da capacidade de infiltração e do aumento da erosão dos solos.

O aumento do calor tem um efeito negligenciável nas propriedades plásticas e líquidas do solo até aos 170 °C, notando-se um pequeno decréscimo aos 220°C. Contudo, depois dos 460°C, e manifestamente a temperaturas superiores a 700°C, o solo absorve maiores quantidades de água e há combustão da matéria orgânica, o que resulta na perda de plasticidade e de elasticidade do solo.

O efeito da temperatura produz diferentes modificações na porosidade dos solos consoante a sua constituição. Por exemplo, em solos com um teor inicial de argila maior, verifica-se que um aumento de temperatura até aos 170°C tem um efeito relativamente baixo na distribuição das partículas. Contudo, após os 220°C a fracção de areia aumenta bastante em relação ao teor em sedimentos e em argila, que diminuem, pelo que a porosidade aumenta de forma contínua até aos 460°C, diminuindo a partir daqui drasticamente, como consequência da perda dos grupos OH das argilas e da ruptura dos carbonatos. Em solos de textura arenosa, pelo contrário, a porosidade diminui continuamente e de forma mais evidente para o intervalo de temperatura entre os 170°C e os 220°C.

O índice de estabilidade da água no agregado do solo, considerado o agente mais importante que cimenta o solo, sofre uma diminuição contínua após as reacções térmicas, e também depois da combustão da matéria orgânica. A diferença mais pronunciada ocorre para temperaturas entre os 220°C - 460°C, quando as transformações térmicas dos óxidos de ferro e de alumínio ocorrem. Uma vez que a reorganização interna do solo e a recristalização dos óxidos de ferro e alumínio contribuem para aumentar a resistência interna dos agregados de solo, especialmente quando em simultâneo com a combustão da matéria orgânica, julga-se que durante o processo de aquecimento o solo sofra uma espécie de laterização. Apesar da estrutura do solo à superfície ser determinada por agregação, o grau de floculação ou dispersão da fracção de argila torna-se mais importante no subsolo.

Um outro aspecto de grande relevância na análise dos efeitos do aumento da temperatura causado pelos fogos é a sua cozedura e respectivas repercussões nas características de permeabilidade. Efectivamente, as camadas superficiais de solo florestal apresentam muitas vezes, após um incêndio, um abrandamento da capacidade de adsorção de água e, em alguns casos, são efectivamente repelentes à água (Ferreira *et al.*, 2005; EUFIRELAB, 2006).

A presença de químicos orgânicos hidrofóbicos deriva da decomposição de detritos orgânicos que, no solo, se podem misturar com as partículas minerais, obstruir os espaços intersticiais e formar uma camada superficial que é relativamente impermeável à água. Esta situação é particularmente favorável à erosão do solo, em especial em locais com declives acentuados. Na realidade, esta estratificação induzida pelo fogo permite que a água da chuva se infiltre apenas até uma certa profundidade, antes da frente molhada atingir a camada repelente à água.

Quando a infiltração da água é impedida ou abranda temporariamente, a superfície de solo torna-se saturada. Então, a água flui lateralmente, gerando a escorrência superficial que constitui a força que promove a erosão do solo, arrastando partículas da camada superficial do solo e alguma porção da camada hidrofóbica inferior. Este mecanismo explica a erosão em ravinas e a formação de pequenos ribeiros, comumente encontrados em solos queimados.

Bitner *et al.* (2001), entre outros, apresentam um levantamento exaustivo de informação relativa às alterações nos parâmetros físicos da água e solos que ocorrem depois de um fogo florestal.

## 2.2 Aspectos químicos

### 2.2.1 Alterações nas cinzas

As cinzas são o material residual da combustão que permanece após o fogo florestal. A quantidade de cinzas depositadas depende do peso e da distribuição espacial da vegetação queimada, do seu grau de combustão e do subsequente transporte de resíduos.

As propriedades das cinzas dependem das condições de queima. Quando a combustão é completa, as cinzas apresentam uma cor branca-acinzentada com uma composição praticamente mineral. Esta cinza é constituída pela componente inorgânica da madeira que permanece após a queima. Contudo, poucos são os fogos naturais que atingem temperaturas suficientemente elevadas e durante o período de tempo necessário para uma combustão completa. Assim, a maioria das cinzas produzidas em fogos florestais apresentam uma cor cinzenta ou preta, uma vez que ainda contém matéria orgânica residual (30 - 90% do peso) e carvão vegetal resultantes da combustão incompleta (EUFIRELAB, 2006 e Ranalli, 2004).

A composição química das cinzas depende da própria composição do material vegetal que é queimado. Este tópico tem sido amplamente investigado, designadamente através da queima em laboratório, embora algumas das cinzas analisadas nestas condições provavelmente apresentem maior conteúdo mineral do que o resultante da queima no campo. Lopes (2007) apresenta os resultados da caracterização de solos e cinzas de incêndios para diversos cobertos vegetais em Portugal.

Os dados referidos na literatura mostram que existe uma grande variabilidade na composição das cinzas, dependendo da sua origem. De uma forma geral, os resíduos das cinzas vegetais são dominados por carbonatos de metais alcalinos e alcalino-terrosos, com quantidades variáveis de sílica, sesquióxidos (óxidos em que dois átomos de um elemento estão combinados com três átomos de oxigénio) de metais alcalinos e alcalino-terrosos, polifosfatos de cálcio e magnésio, e pequenas quantidades de azoto orgânico e inorgânico. As concentrações relativas destes componentes variam de acordo com a espécie de planta. Desta forma, podem encontrar-se variações no teor em azoto entre 0,03 e 1,5%, fósforo entre 0,03 e 3,0%, potássio entre 0,3 e 20%, cálcio entre 2,5 a 25% e magnésio entre 1,5 a 15% (EUFIRELAB, 2006). Esta composição revela que as cinzas depositadas no solo após o incêndio melhoram a fertilidade do solo e facilitam o crescimento da vegetação.

### 2.2.2 Alterações nos solos

A composição química dos solos sofre alterações após um incêndio não só como resultado de modificações físico-químicas na própria estrutura dos solos mas também pela lixiviação das cinzas através do solo.

Este processo conduz a diversas alterações de que se começa por destacar a hidrólise dos catiões básicos das cinzas, assim como a formação de um resíduo alcalino, que pode ter um pH superior a 12 e conduzir a um aumento do pH do solo. A extensão do aumento do pH do solo depende da sua capacidade reguladora, que pode diminuir devido ao aquecimento provocado pelo fogo.

Foi já estudado o efeito de solubilização das soluções alcalinas na matéria orgânica, e que esta promove a agregação do solo, através da incorporação das partículas minerais presentes. Por outro lado, os lixiviados das cinzas trazem para o solo uma elevada densidade de cargas eléctricas que podem favorecer a floculação das argilas dispersas. A adição dos lixiviados de cinza no solo pode, por conseguinte, influenciar o potencial de erodibilidade dos solos que diminui devido à floculação e acelera devido à dispersão.

Além dessa componente, os parâmetros químicos do solo também são afectados pelo aumento da temperatura provocado pelo fogo florestal.

### 2.2.3 Alterações na qualidade da água de jusante

A produção de cinzas e as alterações verificadas nos solos após um incêndio são reflectidas na qualidade das massas de água de jusante, tanto superficiais como subterrâneas, após eventos de precipitação.

Os efeitos dos fogos florestais na alteração da qualidade da água dependem da forma como as características do fogo (frequência, intensidade, duração e abrangência espacial) interagem com as características da bacia hidrográfica (clima, topografia, tipo de solo, geologia, ocupação do solo e percentagem de vegetação queimada). Segundo Ranalli (2004), os impactes são mais acentuados para os seguintes casos:

- fogo com elevada severidade que permita queimar grandes quantidades de matéria orgânica;
- ventos fortes durante o fogo;
- precipitação elevada após o incêndio;
- relevos acentuados na bacia hidrográfica;
- solos com baixa capacidade de troca catiónica.

As interacções entre as características do fogo e a bacia hidrográfica onde se insere são complexas e muito variáveis levando inclusive a que diferentes fogos numa mesma bacia possam produzir efeitos muito díspares na qualidade da água. Não obstante, os diferentes estudos realizados sobre esta temática apresentaram efeitos similares no que diz respeito a alterações físico-químicas dos solos e das águas que se procuram sistematizar no quadro seguinte, referindo os principais elementos inorgânicos e metais. Neste trabalho não são referidos os radionuclídeos do céσιο, cloreto e iodo que também são apontados no trabalho elaborado por Bitner *et al.* (2001).

Os vários estudos demonstram que os diferentes elementos libertados devido à combustão da matéria orgânica podem seguir diferentes percursos até atingir uma massa de água (Ranalli, 2004):

- volatilização seguida de difusão e dissolução do fumo numa massa de água, ou dissolução do fumo na precipitação;
- erosão das cinzas por acção do vento e da água proveniente de encostas e subsequente transporte até a uma massa de água;
- lixiviação da cinza presente à superfície do solo por infiltração até às águas subterrâneas.

Os trabalhos de Bitner *et al.* (2001) e de Ranalli (2004) constituem uma importante síntese de diversos trabalhos científicos publicados sobre os efeitos dos fogos na qualidade das águas. O primeiro é relativo a um vasto conjunto de elementos químicos encontrados nas águas, enquanto o segundo se concentra apenas em alterações na concentração de nutrientes e cinge-se às águas superficiais.

A síntese dos trabalhos referidos é apresentada no Quadro 1, permitindo enquadrar e a justificar a selecção de parâmetros a monitorizar efectuada para este trabalho, bem como a melhor compreender os resultados obtidos.



Quadro 1 - Principais alterações das águas a jusante de áreas ardidas

Referência	Meio	pH	CTC	Cond. El.	C	Ca	Mg	N	K	Na	P	Mn	Cu; Zn	PAH
<i>In: Bitner et al. (2001):</i>														
Baird et al. (1999)	Solo				< 10 a 30%; 280 a 640			<						
Stromgaard (1992)	Solo	>			>	<	>	>	>					
Belillas e Roda (1993)	Águas superficiais Águas escorrência	<				>		>	<					
DeBano et al. (1979)	Solo Águas superficiais Águas de escorrência		<			> 0,52 - 20,04 Kg/ha	> 0,07 - 3,63 kg/ha	>	>	> 0,1 - 2 kg/ha				
Tiedmann et al. (1978)	Águas superficiais Águas escorrência	>		> de 46 - 66 umhos/cm		>	>	>	>	>	> 2 a 3 x	>		
Auclair (1977)													Mobilizado pela queima	
Wright (1976)	Águas escorrência	>				>			> 265%	Não registou alterações	> 93%			
Raison et al. (1985)	Cinzas					> 10 a 50 x	> 10 a 35 x				>			
Austin e Baisinger (1955)	Solo	> 2 a 4 unidades				> 830%	> 337%	<	> 166%					
Viro (1974)	Solo Cinzas	>				> 3 x >	> 2 x	>	<			>		
Stednick et al. (1982)	Águas superficiais						>	>	>	>	> de 0,018 - 0,026 mg/l			
Schindler et al. (1980)	Águas superficiais							> 2 x	> 1,4 a 2,9 x		> 1,4 a 3,2 x			
Chambers e Attiwill	Solo							>				> 279%		
Adams et al. (1994)	Solo				<			<						
Beschta (1900)	Águas superficiais								> até 4,4 mg/l		Ligeiro aumento			
<i>In: Ranalli (2004)</i>														
Soto e Diaz-Fierros (1992)	Liviado de cinzas	7,3 - 9,6												
Kutiel e Inbar (1993)	Solo			>										
Laranjeira e Leitão (2008)	Águas subterrâneas Águas superficiais Solo	> >		>					> >		> >	>		acenafteno e naftaleno 10 de 16 HAP (US EPA)

Resumem-se alguns dos processos associados à presença de alguns dos elementos mais comuns.

O aumento do carbono, ou de matéria orgânica, nas águas de escorrência após um incêndio resulta da própria queima de matéria vegetal, pelo que depende do grau e da intensidade do fogo. Por outro lado, verifica-se poder haver alguma diminuição da quantidade de carbono no solo como resultado da combustão da matéria orgânica do solo superficial. Excesso de carbono orgânico dissolvido (COD) constitui um problema para as Estações de Tratamento de Água por causa da potencial formação de trihalometanos através da aplicação de cloro à matéria orgânica dissolvida. A reacção do COD com o cloro também pode causar a diminuição do cloro residual nos sistemas de distribuição.

O aumento de catiões [cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e, em alguns casos, sódio (Na)] nas águas de escorrência de áreas queimadas tem origem nas cinzas e nos solos superficiais. Este aumento (de cerca de 4 a 5 vezes, segundo alguns autores) faz-se sentir principalmente no primeiro ano após o incêndio. Nos anos seguintes observa-se uma diminuição das concentrações por diluição com a precipitação. Os catiões nas cinzas aparecem sob a forma de óxido (e também de carbonato para o caso do Ca) pelo que a sua migração depende muito das condições de pH do meio e da capacidade de troca catiónica dos solos. Efectivamente, os elementos que aparecem sob a forma de óxidos são solúveis na água, podendo infiltrar-se para camadas mais profundas do solo até atingir a zona saturada, mas os carbonatos apenas são solúveis em condições de pH baixo, condições geralmente opostas às existentes em áreas ardidas. No caso do K há, ainda, registos de decréscimos nas suas concentrações devido à sua retenção por parte das plantas sobreviventes ao incêndio.

O incremento de azoto (N) nas águas, em geral sob a forma de nitrato ou de amónia, como resultado de incêndio foi registado em diversos casos de estudo, dependendo da intensidade e duração do fogo. O oposto também foi reportado. Em geral o aumento de concentração em N é atribuído à diminuição da sua retenção pelo coberto vegetal extinto pelo fogo. A diminuição é atribuída a casos onde se registam incêndios de grande intensidade com volatilização do azoto do solo e, conseqüentemente, o seu desaparecimento.

As alterações nas concentrações em sulfatos têm-se revelado inconclusivas, por vezes com registos de ligeiros aumentos sem significado.

Tem sido observado um aumento na concentração de fósforo (P) nos solos e nas águas de áreas ardidas que é atribuído à sua mobilização pela queima e à redução das necessidades biológicas e dos processos de precipitação e fixação químicas do fósforo solúvel inorgânico. A presença de P nas águas é baixa na medida em que a sua propensão para ser lixiviado é pequena.

A presença de metais pesados, entre os quais o manganés (Mn), em áreas ardidas é atribuída às cinzas, em particular àquelas resultantes de plantas resinosas como as agulhas de pinheiros. Outros autores sugerem ainda que os incêndios criam condições favoráveis à mobilização de complexos de metais ligados à matéria orgânica do solo e à mobilização das formas reduzidas do metal. O cobre (Cu) e o zinco (Zn) são outros dois metais pesados referidos como sendo mobilizados pelos processos de queima.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Áreas de estudo

A selecção das áreas de estudo para análise do efeito de fogos florestais incidiu sobre o concelho de Mação, Portugal, onde esta temática tem sido objecto de análise e acompanhamento por parte da Câmara Municipal. Foi estabelecida de forma a individualizar pequenas bacias mais ou menos distintas do ponto de vista do coberto vegetal, geologia e condições de escoamento. As bacias seleccionadas foram, para a situação de referência, a bacia da Quebrada (área não ardida) e, para a situação degradada, as bacias do Caratão, Carvoeiro (queimadas em 2003) e Penhascoso (ardeu em 2006, no decurso do projecto) (Fig. 5). Consideraram-se unicamente estas quatro situações, admitindo-se que os diferentes cenários – áreas não ardidas recentemente, áreas ardidas recentemente e áreas não ardidas - eram suficientemente distintos para uma apreciação evolutiva do efeito dos fogos florestais no ciclo hidrológico e na qualidade dos solos e das águas de superfície e subterrâneas.

De acordo, ainda, com os objectivos do projecto POCTI/AGR/59180/2004 – “Avaliação do impacte dos fogos florestais nos recursos hídricos subterrâneos” as áreas estavam sob cobertos vegetais de *Pinus pinaster* e *Eucalyptus globulus* em diferentes estádios de desenvolvimento. A composição das diferentes cinzas de vegetais foi objecto de análise detalhada pela equipa do projecto (Lopes, 2007; Lobo Ferreira *et al.*, 2009).

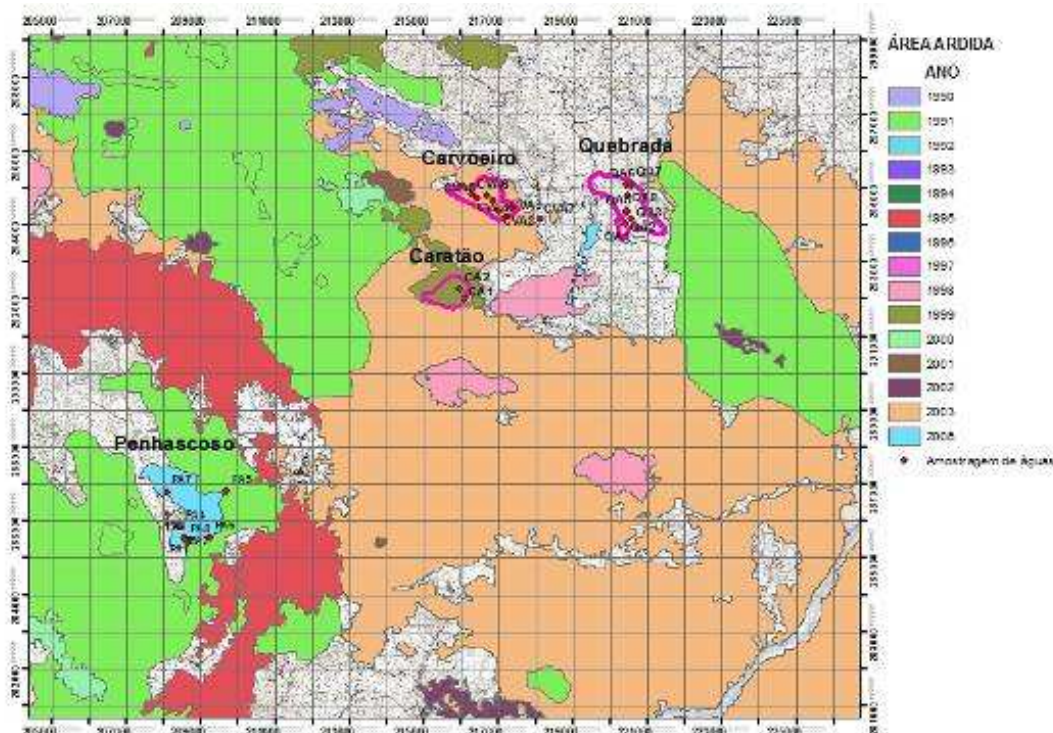


Fig. 3 - Localização das áreas de estudo no Concelho de Mação: Caratão, Carvoeiro, Quebrada e Penhascoso

No Quadro 2 apresenta-se uma síntese das características principais das quatro bacias em estudo no concelho de Mação.

Quadro 2 - Principais características das quatro bacias em estudo no Concelho de Mação: Caratão, Carvoeiro, Quebrada e Penhascoso

Bacias	Condição relativa a fogos	Caudais em rio	Ocupação florestal	Observações
Caratão	Área não ardida recentemente	Monitorização desde 1997	Pinheiro	
Carvoeiro	Área não ardida recentemente	Sem monitorização	Pinheiro	
Penhascoso	Área ardida recentemente	Sem monitorização	Pinheiro Eucalipto	Área principal do projecto em termos de qualidade
Quebrada	Área não ardida	Sem monitorização	Pinheiro	Área de controlo de qualidade e quantidade de água

### 3.2 Monitorização

A selecção de pontos de amostragem de água nas bacias em estudo (Caratão, Carvoeiro, Quebrada e Penhascoso) foi definida com base na representatividade no espaço que cada corpo de água (furos, nascentes, charcas e poços) representa dentro de cada bacia hidrográfica.

Uma vez que não havia conhecimento das infra-estruturas existentes nesta região foi feito um reconhecimento ao local por forma a identificar, nos mapas das respectivas bacias hidrográficas, os pontos a monitorizar tendo-se em consideração os objectivos do estudo, a acessibilidade aos locais, as características físicas dos cursos de água (presença de afluentes, condições de mistura) e os meios logísticos e recursos humanos disponíveis, procurando-se distribuir os pontos ao longo dos eixos longitudinais das ribeiras.

Deste modo, nas áreas englobadas no projecto foram escolhidos 23 pontos de amostragem de água (cf. Quadro 3), sendo um num furo de abastecimento de água, três em nascentes, três em charcas, dez em poços, cinco em linhas de água, e um num talhão de escoamento directo.



Quadro 3 - Inventário dos pontos de monitorização e amostragem

Bacias	Furo	Nascentes	Charcas	Poços	Linhas de água	Talhão (recolha de água de escoamento directo)
Caratão		1			1	
Carvoeiro		2	1	2	1	
Quebrada			1	5	1	
Penhascoso	1		1	3	2	1
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>1</b>

O conjunto de infra-estruturas de amostragem seleccionado teve como objectivo avaliar o efeito dos fogos na qualidade, pelo que se efectuou a análise (Fig. 4): (1) da água de escoamento directo (talhão) e (2) dos meios hídricos receptores: (a) superficial (charcas e linhas de água), resultante do escoamento à superfície, e (b) o subterrâneo (nascentes, poços, furos) resultante da infiltração.



Fig. 4 - Aspecto de alguns dos locais de amostragem

Para a monitorização química da água de escoamento directo e da erosão, utilizou-se um talhão experimental (Fig. 4 última linha, foto da esquerda), que representa uma unidade de solo delimitada por chapas metálicas, em que todo o excedente superficial de água nela ocorrido é encaminhado por uma mangueira para um recipiente de recolha.

O plano de monitorização compreendeu, em cada campanha de amostragem de água, os seguintes aspectos:

1. Medição *in situ* dos valores da temperatura, pH, condutividade eléctrica e potencial redox (Eh), através da utilização de uma sonda multiparamétrica para caracterização das condições físico-químicas gerais das águas no local.
2. Recolha de amostras de água para posterior análise química em laboratório com vista à determinação dos seguintes parâmetros: Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(ghi)pirileno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fluoranteno, Indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno, fenantreno, pireno), cloreto, sulfato, bicarbonato, nitrato, fluoreto, fosfato, cálcio, magnésio, sódio e potássio.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Monitorização *in situ* de parâmetros físico-químicos gerais

A avaliação dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas e superficiais foi feita *in situ*, para a situação de referência, na bacia da Quebrada (área não ardida) e, para a situação degradada, nas bacias do Caratão, Carvoeiro (queimadas em 2003) e Penhascoso (ardeu em 2006), o que permitiu, por um lado, fazer uma avaliação do estado de qualidade das águas e solos de cada bacia e, por outro, caracterizar com base nos valores aí obtidos as áreas ardidas recentemente e as ardidas há mais tempo, visto que as condições de ocupação do solo se alteraram. Em qualquer dos casos, para estas amostragens foi utilizada uma sonda multiparamétrica que permitiu a recolha de dados de temperatura, pH, condutividade e potencial redox.

Seleccionaram-se os parâmetros condutividade eléctrica e pH como descritores gerais da qualidade da água nos sistemas em estudo, reconhecidamente importantes segundo Bitner *et al.* (2001).

A Fig. 5 mostra os valores da condutividade eléctrica obtidos *in situ* em amostras de água recolhidas nas quatro áreas de estudo – Caratão, Carvoeiro, Quebrada e Penhascoso, para as campanhas de 2006 e 2007.

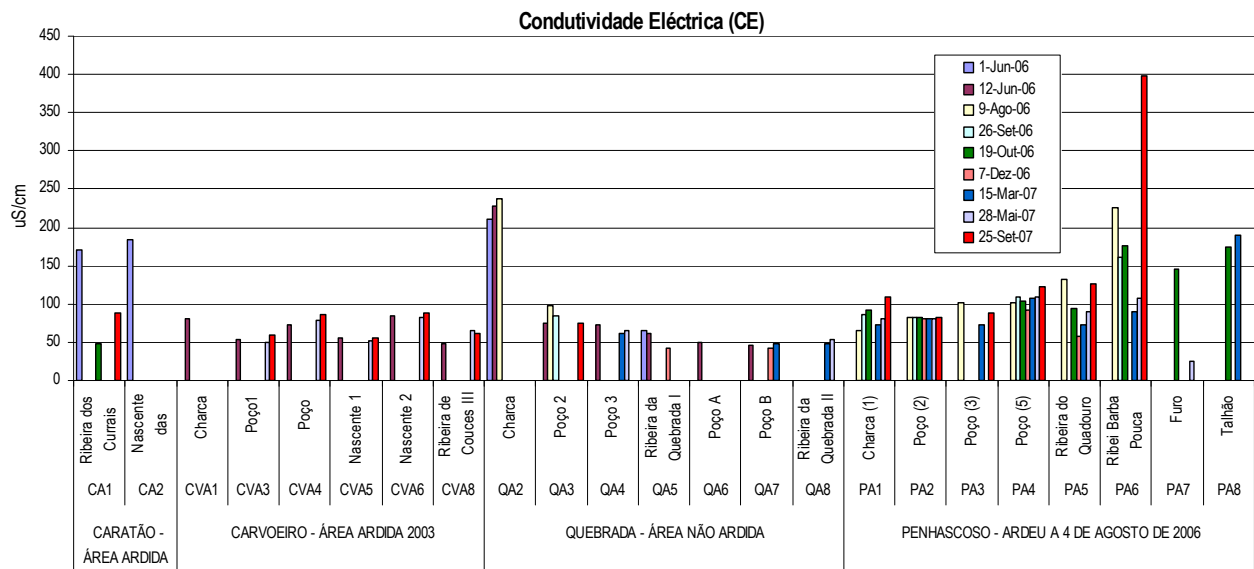


Fig. 5 - Variação dos valores da condutividade eléctrica medida *in situ* nas amostras de água nas bacias do Caratão, Carvoeiro, Quebrada e Penhascoso

O gráfico da Fig. 5 permite verificar que os valores de condutividade eléctrica tiveram resultados bastante contrastantes, uma vez que se trata de águas com origens muito diferentes, variando entre 25 µS/cm (furo) a 398 µS/cm (ribeira da Barba Pouca). Os dados indicam tratar-se de águas pouco mineralizadas com baixo conteúdo em sais.

A análise dos valores de condutividade eléctrica (CE) demonstra que, comparativamente com a situação de

referência (bacia da Quebrada – área não ardida) e com a bacia de Carvoeiro (ardeu em 2003) a área de Penhascoso, os seus valores apresentam CE mais altas (Fig. 5). Tal facto que poderá ser explicado por se tratar de uma área recentemente ardida apresentando uma mineralização da água mais elevada.

Pela análise do mesmo gráfico, podemos observar um aumento significativo dos valores de condutividade eléctrica (CE) em 9 de Agosto, tanto na ribeira do Quadouro como na ribeira da Barba Pouca, após o incêndio florestal. Esse aumento da CE poderá dever-se ao facto de a ribeira da Barba Pouca se situar a jusante da área ardida. Bitner *et al.* (2001) verificaram também a existência de variações na condutividade eléctrica da água superficial numa área ardida que apresentava um valor de 46  $\mu\text{S}/\text{m}$  antes do incêndio e de 66  $\mu\text{S}/\text{cm}$  após o mesmo, atribuindo tal aumento à presença de cinzas na água.

É possível observar-se, no mesmo gráfico, em 2007 um padrão de evolução semelhante na salinidade da água das ribeiras do Quadouro e Barba Pouca. No mês de Abril a situação observada, em termos da concentração de sais, tanto numa bacia como noutra é menor, relativamente à situação encontrada em Outubro. Tal facto pode dever-se ao arrastamento de partículas resultante da erosão dos solos pela chuva, favorecido pela pouca vegetação existente. Na ribeira da Barba Pouca, no mês de Outubro a situação observada é claramente mais desfavorável, em termos de concentração de sais na água, do que a registada no mesmo mês na ribeira do Quadouro.

Relativamente às águas subterrâneas seria de esperar nos pontos de amostragem de água PA3 e PA4 este comportamento. De facto, observa-se um aumento dos valores da condutividade, com aumentos de CE mais atenuados e prolongados no tempo, o que é justificado pela lentidão dos processos de migração de sais em profundidade e pela retenção de elementos no solo atravessado.

A Fig. 6 que apresenta os valores de pH medidos *in situ*, permite verificar que as águas apresentam pH inferior a 7, muitos com características de acidez.

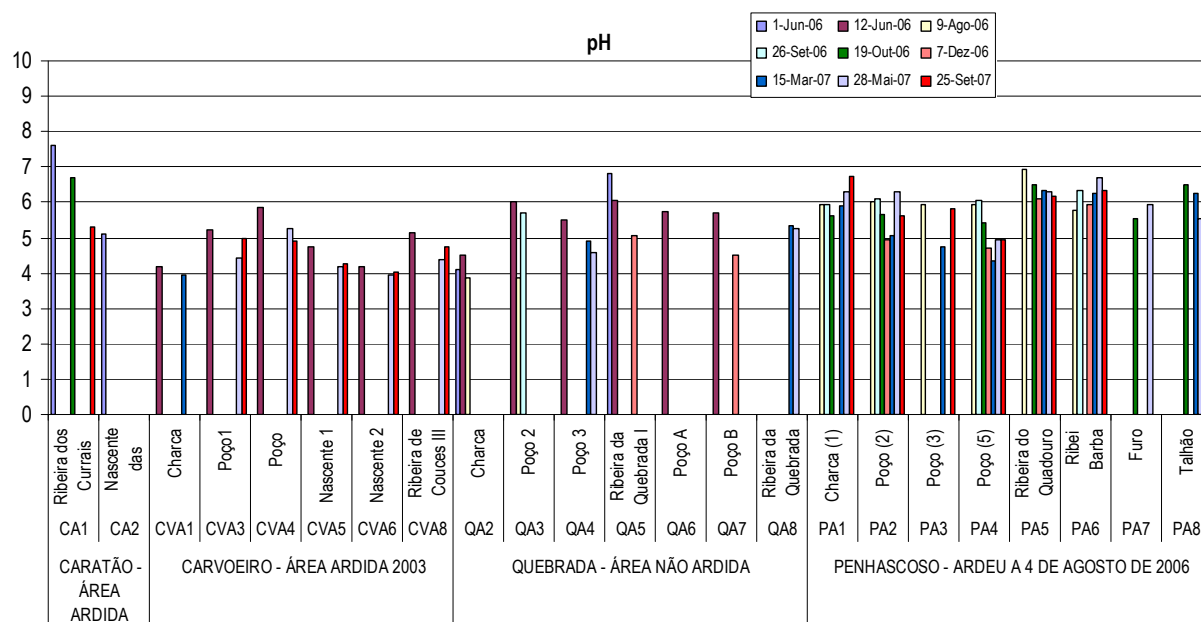


Fig. 6 - Variação dos valores de pH medidos *in situ* nas amostras de água das bacias do Caratão, Carvoeiro, Quebrada e Penhascoso

Os valores de pH apresentam para a totalidade das 76 amostras de água analisadas (subterrânea e superficial) variação entre 3,94 e 7,6. O valor mais elevado de pH (7,6) registou-se no ponto CA1 na ribeira dos Currais (bacia do Caratão). Os valores mais baixos de pH registaram-se nos pontos CVA6 (nascente 2) com pH 3,96 e no ponto CVA1 (Charca) com pH 3,94, todos na bacia de Carvoeiro.

Observa-se que as características naturais das águas subterrâneas – em que o pH resultante deve ser ligeiramente ácido, por se tratar de aquíferos desenvolvidos sobre solos ácidos, quartizíticos, graníticos e xistosos – predominam. De qualquer forma, registam-se os valores de pH mais elevados na área de Penhascoso, resultado da influência do fogo e da presença de cinzas na água.

No ponto PA6 (ribeira da Barba Pouca) verifica-se um aumento do valor do pH de 5,76 para 6,34. Bitner *et al.*



(2001) confirma citando vários autores que há um aumento de pH na água dos locais sujeitos a fogos florestais. Contudo, individualmente por local, este aspecto nem sempre é evidente.

## 4.2 Análises químicas

### 4.2.1 Elementos orgânicos

A análise do efeito dos fogos florestais na qualidade dos solos e das águas foi efectuada para os quatro casos de estudo previamente referidos, procurando ter representado situações de áreas não ardidas (Quebrada) bem como situações onde houve incêndios em diferentes datas (Caratão - 1998 e 2003; Carvoeiro - 2003; Penhascoso - 2006). À partida, atendendo ao facto de as condições litológicas entre as diferentes áreas serem semelhantes, seria de esperar observar alterações na qualidade dos solos e das águas dos locais mais recentemente ardidos. Não obstante, e conforme atrás referido, há diversos outros factores susceptíveis de condicionar os resultados pelo que esta relação não é linear.

Apresentam-se os resultados obtidos para os diferentes parâmetros analisados. Além do conjunto de parâmetros atrás referido como podendo resultar de um fogo florestal, analisou-se ainda a sílica, elemento também atribuído à mesma origem. Optou-se por apresentar os resultados para todo o conjunto de locais estudados de forma a fazer uma análise comparativa dos resultados. Assinala-se o facto de haver inúmeras falhas de informação resultantes da ausência de amostras.

A análise da Fig. 7 permite observar que a concentração em matéria orgânica (MO) é, em termos gerais, superior nas amostras retiradas da área ardida de Penhascoso.

Em relação às águas de superfície regista-se o aumento da sua concentração em MO logo após o incêndio que ocorreu a 4 de Agosto de 2006. Este aumento fez-se sentir nas águas das duas ribeiras e na da charca e deve-se ao arraste da matéria orgânica das cinzas pelas águas de escorrência resultantes da precipitação que se fez sentir durante o incêndio e que foi mesmo responsável pela sua extinção. A concentração nas águas de superfície diminuiu nas análises efectuadas em datas subseqüentes, facto especialmente claro para as águas das ribeiras e menos acentuado para a água da charca onde existe alguma estagnação da água com a consequente acumulação de cinzas.

Para as águas subterrâneas analisadas nos poços, verifica-se que o aumento de concentração em MO se dá alguns meses após o incêndio, tempo necessário para que se processe a infiltração de água e a lixiviação de MO até ao nível saturado.

Assinala-se, ainda, os valores elevados encontrados na água do talhão sete meses após o incêndio.

Nos restantes locais analisados, as concentrações em MO apenas ultrapassam os 2 mgMO/l num poço. Nesses locais, onde foi efectuada mais do que uma análise, os valores de concentração em MO são aproximadamente constantes.

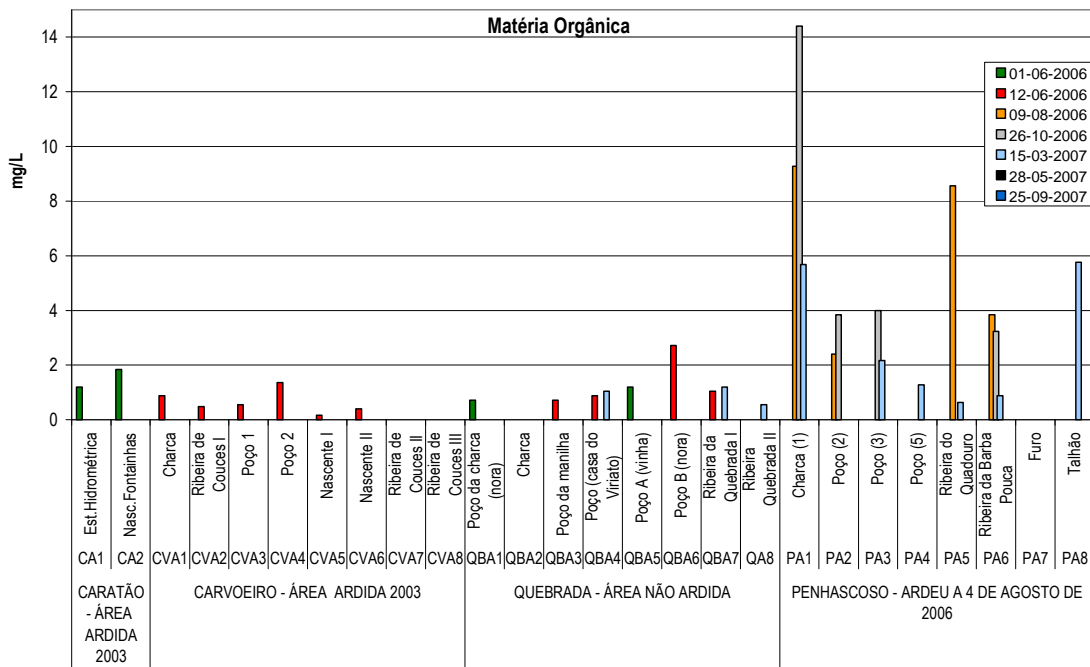


Fig. 7 - Valores de concentração em matéria orgânica nos quatro locais de estudo

A análise dos resultados da monitorização nos quatro locais de estudo permitiu verificar, em 2006, a presença de diversos elementos nos solos cuja origem se deverá às cinzas dos incêndios. Pelo menos 10 dos 16 HAP considerados prioritários pela US EPA - acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, criseno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno, fenantreno e pireno - foram identificados nas amostras de solos queimados recolhidas na área de estudo de Penhascoso, verificando-se que os valores registados para os HAP individualmente são bastante inferiores aos esperados (Fig. 8).

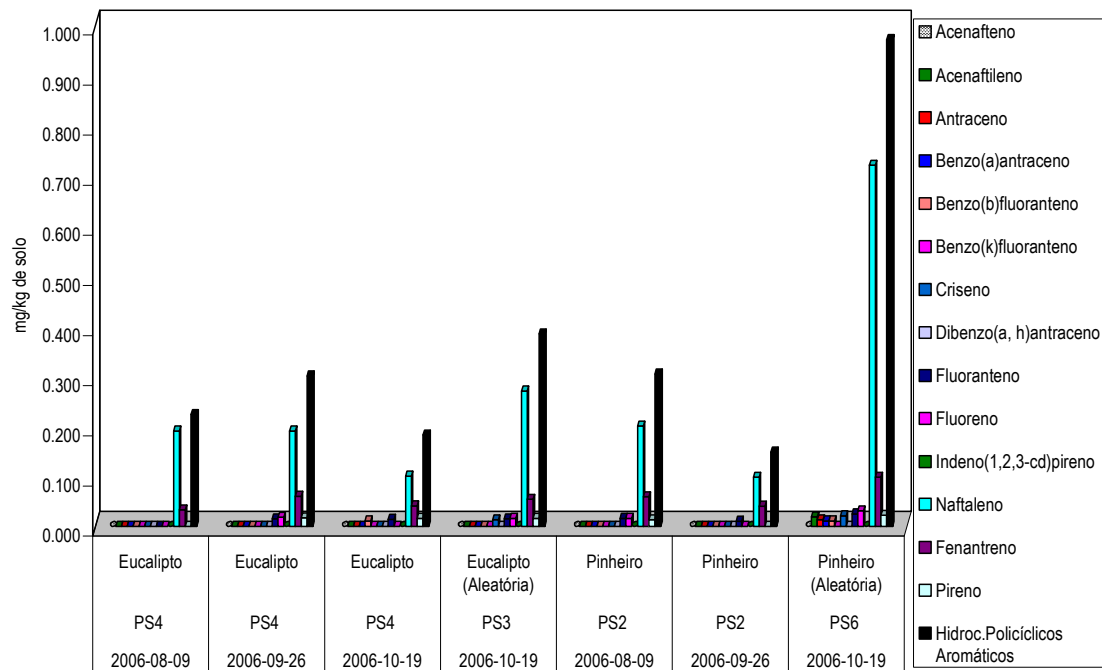


Fig. 8 - Resultados da qualidade dos solos na área de Penhascoso para os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP), no ano de 2006



Nas amostras de solos recolhidas em 2007 já não se encontraram HAP. Justifica-se, no entanto, a necessidade de um controlo nas áreas em que ocorram fogos florestais, para minimizar os riscos de contaminação ambiental e consequentemente a exposição humana.

Não se verificou a presença de HAP na maioria das amostras de água subterrânea e superficial recolhidas em 2006 e 2007, com excepção das amostras de água recolhidas no talhão de escoamento em 2006, onde se verificou a presença de acenafeno e naftaleno.

### 1.1.1 Elementos inorgânicos

Em relação às concentrações em sílica (Si), a Fig. 9 apresenta os resultados obtidos para os quatro locais de estudo. Observa-se que apenas para o caso da área recentemente ardida de Penhascoso há valores de concentração superiores a 15 mgSi/l, estando os restantes valores próximos dos 10 mgSi/l. Em Benoliel *et al.* (1998) são apresentados valores máximos de concentrações na água de adução do subsistema Tejo da ordem de grandeza de 10 mgSi/l, valores equivalentes às áreas não ardidas ou ardidas há mais anos.

Os aumentos de concentração observados fizeram-se sentir em especial nas águas subterrâneas dos poços e dos furos, vários meses após o incêndio. Em relação às águas de superfície, apenas a água da charca parece apresentar um aumento da concentração em sílica, vários meses após o incêndio.

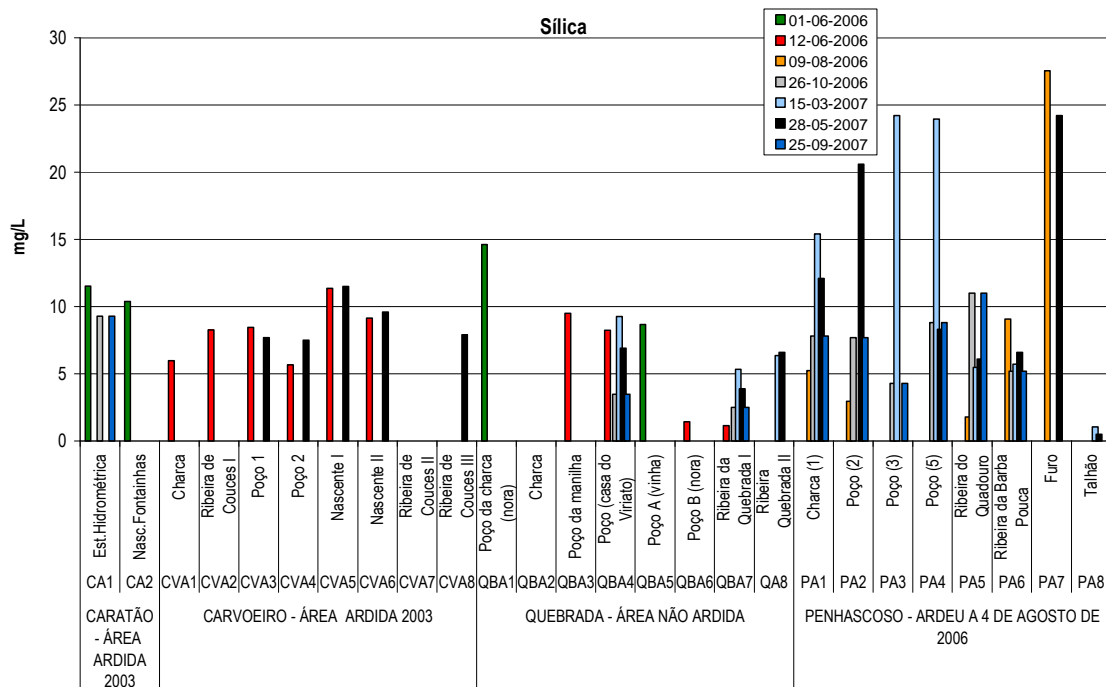


Fig. 9 - Valores de concentração em sílica nos quatro locais de estudo

A Fig. 10 apresenta os resultados das concentrações em potássio (K) nas águas dos quatro casos de estudo. Regista-se a presença de concentrações claramente superiores de K na água para as amostras obtidas na área de Penhascoso. Embora, à primeira vista, a variação de concentrações pareça seguir o padrão encontrado para a MO, isto é um aumento de valores nas águas de superfície logo após o período do incêndio, para apenas depois surgir nas águas subterrâneas, observa-se, por outro lado, uma oscilação das concentrações ao longo dos meses seguintes cuja explicação não é clara (por exemplo na água do talhão).

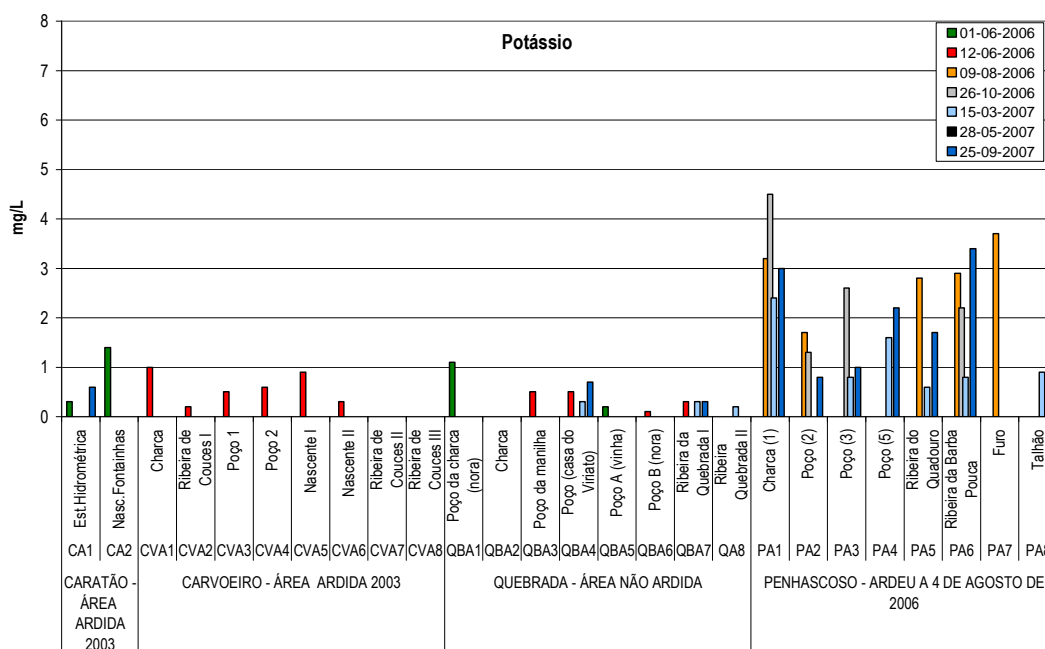


Fig. 10 - Valores de concentração em potássio nos quatro locais de estudo

A presença de fosfatos ( $PO_4$ ) apenas foi registada nas amostras de água da área de Penhascoso. Em todos os outros locais as concentrações apresentaram-se inferiores ao limite de detecção. Além da contribuição do incêndio para o aumento das concentrações, é natural que a ocupação do solo a montante da ribeira da Barba Pouca também possa estar na origem dos valores elevados encontrados em Outubro de 2006. De registar a presença de valores ainda elevados no talhão vários meses após a data do incêndio (Fig. 11).

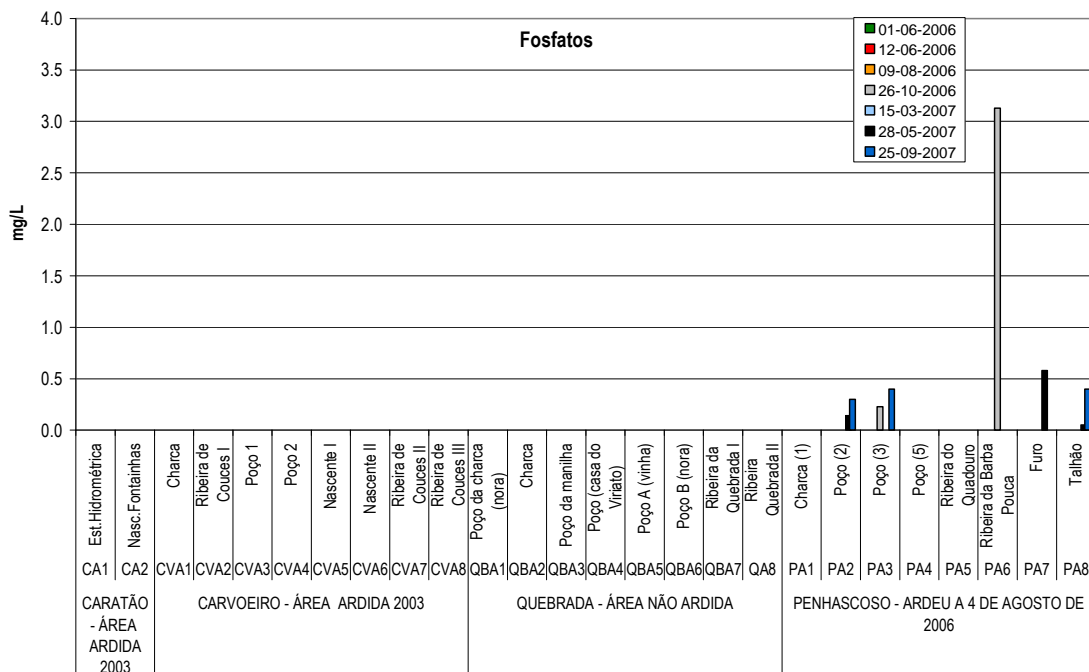


Fig. 11 - Valores de concentração em fosfatos nos quatro locais de estudo

Do conjunto de análises realizadas há vários parâmetros para os quais se observa a presença de valores mais elevados de concentração na área mais recentemente ardida de Penhascoso. Não obstante, não é claro qualquer padrão de evolução após o período de incêndio pelo que a atribuição da causa desse aumento a um

incêndio não é linear, embora se possa estar em presença de um parâmetro cujo efeito se faz sentir por diversos meses. A Fig. 12 apresenta os resultados para as concentrações em sódio (Na) observando-se uma constância de valores ao longo de todo o período monitorizado.

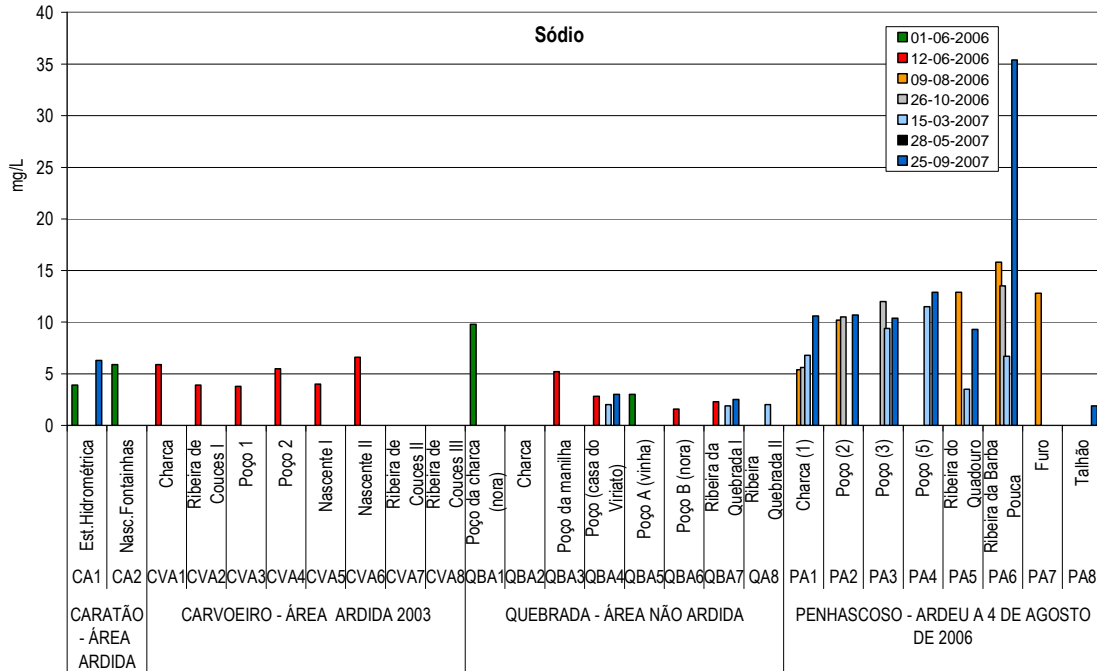


Fig. 12 - Valores de concentração em sódio nos quatro locais de estudo

Além do exemplo do parâmetro Na, não conclusivo relativamente à sua origem, há outros parâmetros que se encontram em situação idêntica para os casos de estudo analisados, Referem-se os seguintes: Cl, SO4, NO3, Mg e Ca, representados nas Fig. 13 à Fig. 16.

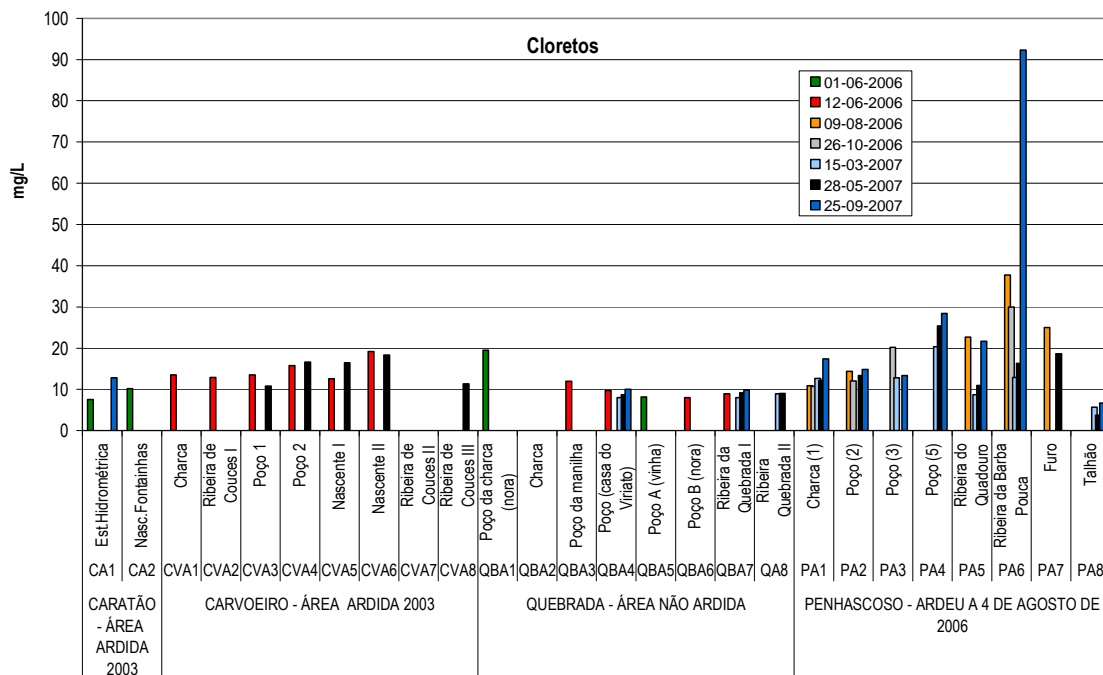


Fig. 13 - Valores de concentração em cloretos nos quatro locais de estudo

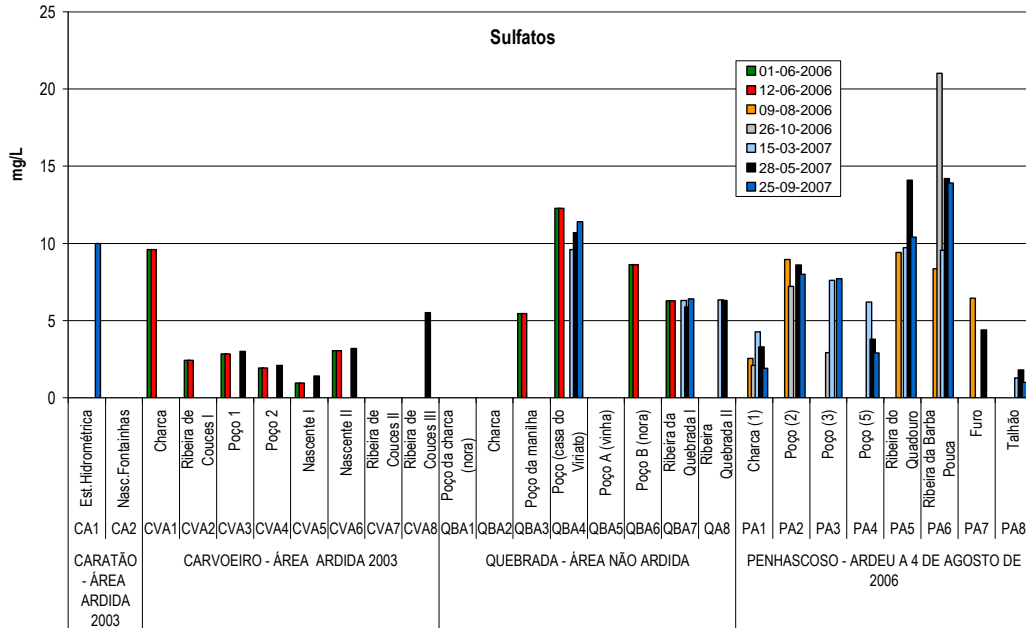


Fig. 14 - Valores de concentração em sulfatos nos quatro locais de estudo

No caso da concentração de nitratos (NO<sub>3</sub>) na água, observa-se a presença de valores baixos, embora se destaque o aumento de concentrações nas águas superficiais logo após o incêndio. Contudo, após a diminuição dos valores durante vários meses, observa-se novo aumento que poderá ser atribuído a outras origens resultantes da ocupação do solo da bacia hidrográfica.

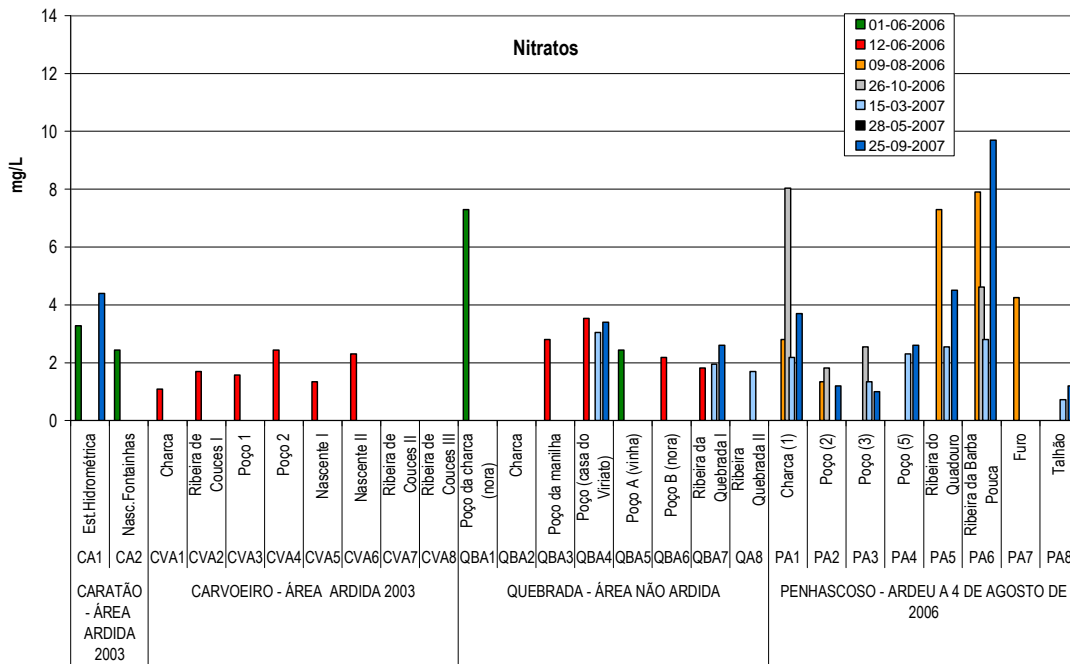


Fig. 15 - Valores de concentração em nitratos nos quatro locais de estudo

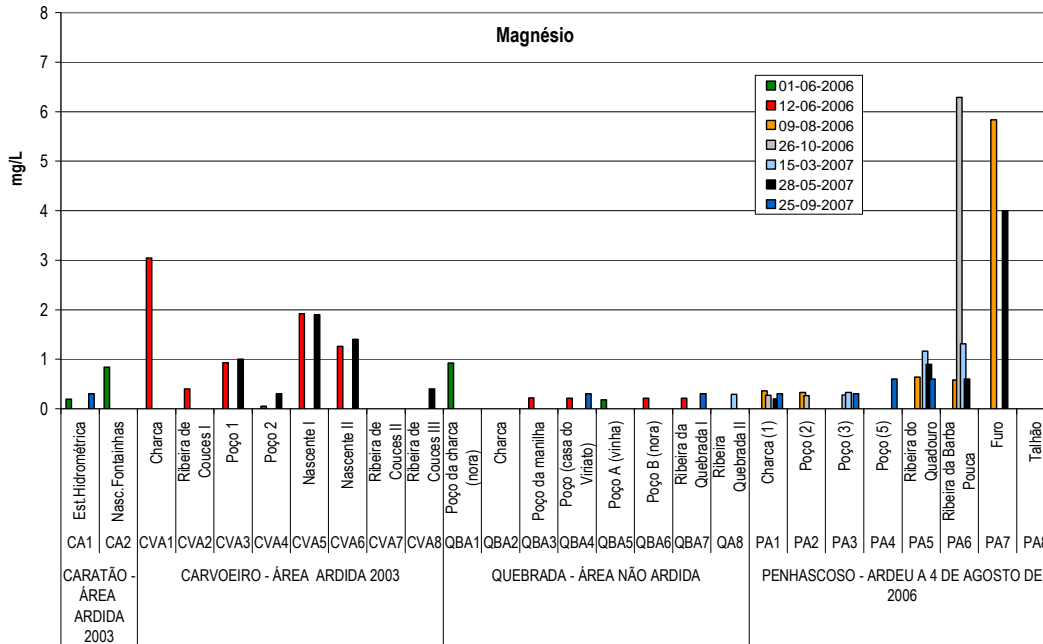


Fig. 16 - Valores de concentração em magnésio nos quatro locais de estudo

#### 4.3 Manganês (Mn) na água da bacia do rio Zêzere (vale de Manteigas)

Para uma aproximação aos esquemas de monitorização aplicados nas outras áreas de estudo do Projecto seleccionou-se também a área do vale do Zêzere (Manteigas) para a monitorização da qualidade da água superficial e subterrânea. Assim, e na sequência de um fogo florestal que ocorreu na primeira quinzena de Maio de 2005 nesta área, fez-se uma primeira deslocação a esta zona para a colheita de amostras de água superficial no rio Zêzere em 30 de Outubro de 2005, logo após as primeiras chuvadas; uma segunda deslocação no dia 03 de Novembro de 2005 e uma última deslocação em 10 de Novembro de 2005.

A água recolhida foi analisada no Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge. Os resultados obtidos confirmaram a existência de valores elevados de Mn (manganês) na amostra de água recolhida em 30 de Outubro. O valor encontrado foi de 7810 µg/l. Tal facto poder-se-á dever ao arrastamento das cinzas para as águas do rio Zêzere, devido ao incremento da erosão causada pela precipitação ocorrida após o fogo florestal. Chambers *et al.* (1994) citado por Bitner *et al.* (2001) referem um aumento de concentração de Mn em 279% num solo após um incêndio. Outros autores em Bitner *et al.* (2001) referem que a origem dos valores elevados de Mn se pode dever à vegetação queimada, particularmente a folhas de resinosas.

Verificou-se também que a água recolhida no rio Zêzere cinco dias depois (3 de Novembro) mostrou uma concentração mais baixa (14 µg/l) em Mn e passados mais sete dias não se encontrou manganês estando abaixo dos limites de detecção (<1 mg/l).

Para as mesmas amostras de água foram feitas também análises ao carbono orgânico dissolvido. Para as mesmas datas foram encontrados valores de 21 mg/l no dia 30 de Outubro de 2005, 1,6 mg/l em 3 de Novembro e <1 mg/l no dia 10 de Novembro de 2005.

O conjunto dos dados mostra que o manganês e carbono podem ser importantes traçadores.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados da monitorização nos quatro locais de estudo, com diferentes situações em relação aos fogos [bacia da Quebrada - área não ardida; bacias do Caratão e do Carvoeiro (áreas queimadas em 2003) e bacia do Penhascoso (ardeu em 2006, no decurso do projecto) e bacia do Rio do Zêzere] permitiu verificar a presença de diversos elementos químicos nas águas subterrâneas e superficiais cuja origem se deverá às cinzas dos incêndios e a alterações nos solos decorrentes de fogos florestais.

De entre o conjunto de elementos identificados como potencialmente originados pelos incêndios, apresenta-se no Quadro 3 aqueles que foram encontrados nos casos de estudo analisados, o que aconteceu em especial na zona de Penhascoso, mais recentemente ardida. Estes elementos enquadram-se no conjunto de alterações físico-químicas citadas na bibliografia da especialidade.

Para o conjunto de características das bacias hidrográficas analisadas (clima, topografia, tipo de solo, geologia, ocupação do solo e percentagem de vegetação queimada) destaca-se a presença de diversos elementos químicos inorgânicos ligados aos fogos, tais como K, P, Si, e Mn nas análises qualidade da água superficial na bacia do Rio do Zêzere (vale de Manteigas) em 2005, o que sugere que estes elementos são mobilizados no solo após a ocorrência dos fogos florestais. Quanto aos elementos orgânicos regista-se a presença de matéria orgânica e a ausência de HAP na maioria das amostras de água subterrânea e superficial recolhidas em 2006 e 2007, com excepção das amostras de água recolhidas no talhão de escoamento em 2006, onde se verificou a presença de acenafeno e naftaleno, pese embora a presença de HAP em muitas das amostras de solos. Estes elementos são pouco mobilizados e/ou facilmente degradados.

Com base nos resultados obtidos, o Quadro 4 apresenta, na última coluna, uma proposta dos elementos que poderão servir de traçadores da influência de fogos florestais em áreas com características geomorfológicas e de coberto vegetal semelhantes às analisadas.

Quadro 4 - Parâmetros detectados nas águas analisadas nos locais de estudo e que podem servir de elementos traçador

Elemento	Deteção ligada ao fogo (sim = ✓; Possivelmente = ?; Não = ✗)	Elemento traçador
Carbono (C ou MO)	✓	Sim
Cálcio (Ca)	✗	-
Magnésio (Mg)	✗	-
Sódio (Na)	?	-
Potássio (K)	✓	Sim
Azoto (N)	?	-
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	?	-
Fósforo (P)	✓	Sim
Manganés (Mn)	✓	Sim
Sílica (Si)	✓	Sim

## BIBLIOGRAFIA

BENOLIEL, M.J.; CAVACO, M.A.; GANCHO, S. (1998) – *Características Físicas e Químicas da Água Aduzida a Lisboa - Influência na Qualidade da Água Distribuída*. Comunicação ao 4.º Congresso da Água, APRH, Lisboa, 23-27 de Março de 1998, 16 pp.

BITNER, K.; GALLAHER, B. E.; MULEN, K. (2001) - *Review of Wildfire Effects on Chemical Water Quality*. Los Alamos National Laboratory, LA-13826-MS, 25 pp.

EUFIRELAB (2006) - *Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory, a “Wall-less” Laboratory for Wildland Fire Sciences and Technologies in the Euro-Mediterranean Region. Deliverable D-04-12 - Wildland Fires Impacts: a State of the Art*, final version.

FERREIRA, A.J.D.; COELHO, C.O.A.; BOULET, A.K.; LEIGHTON-BOYCE, G.; KEIZER, J.J.; RITSEMA, C.J. (2005) - *Influence of Burning Intensity on Water Repellency and Hydrogeological Processes at Forest and Shrub Sites in Portugal*. CSIRO Publishing. Australian Journal of Soil Research, 2005, 43, p. 327-336.

LARANJEIRA, I. e LEITÃO, T.E. (2008) - *Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos. Análise do Impacte dos Fogos Florestais na Qualidade Química das Águas Superficiais e Subterrâneas das Áreas de Estudo da Região Centro*. Relatório 63/2008 - NAS, LNEC, 84 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.; NOVO; M.E.; OLIVEIRA; M.M.; LARANJEIRA; I.; LEITÃO; T.E.; HENRIQUES; M.J.; MARTINHO; N.; QUINTA-NOVA; L.; FERNANDEZ; P.; LOPES; M.H.; PARALTA; E.; TUJEIRA; R.; ROQUE; N.; MESTRE; S.; DIAS; S.; FREIRA; M.; GAÇHETAS; M.; GOMES; S.; MATOS; C.; GAMBOA; M. (2009) - *Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos*. Relatório Final de Execução Material. Relatório 351/2009-NAS, 533 pp.

LOPES, M.H.; FREIRE, M.; GOMES, S.; GALHETAS, M.; MATOS; C. (2007) – *Avaliação do impacte de fogos florestais nos recursos hídricos subterrâneos*. POCI/AGR/59180/2004, 2º RELATÓRIO de PROGRESSO – Janeiro a Dezembro de 2006, INETI.

OLIVELLA, M.A.; RIBALTA, T.G.; FEBRER, A.R.; MOLLET, J.M.; LAS HERAS, F.X.C. (2005) – *Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine waters after Mediterranean forest fires*. The Science of the Total Environment 355 (2006) 156-166.

[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V78-4G4MMDX-B&\\_user=2513107&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_view=c&\\_acct=C000057701&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=2513107&\\_md5=c6e49820bece1f4b10aaba4d2e2c2526](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V78-4G4MMDX-B&_user=2513107&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000057701&_version=1&_urlVersion=0&_userid=2513107&_md5=c6e49820bece1f4b10aaba4d2e2c2526)

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

RANALLI, A. J. (2004) – *A Summary of the Scientific Literature on the Effects of FIRE on the Concentration of Nutrients in Surface Waters*. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 23 pp.

XANTHOPOULOS, G.; CABALLERO, D.; GALANTE, M.; ALEXANDRIAN, D.; RIGOLOT, E. e MARZANO, R. (2006) - *Forest Fuels Management in Europe*. Proceedings do USDA Forest Service, RMRS-P-41.