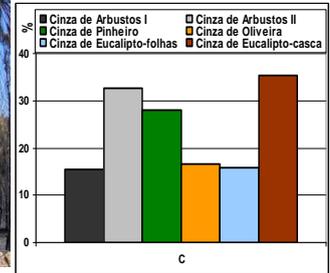
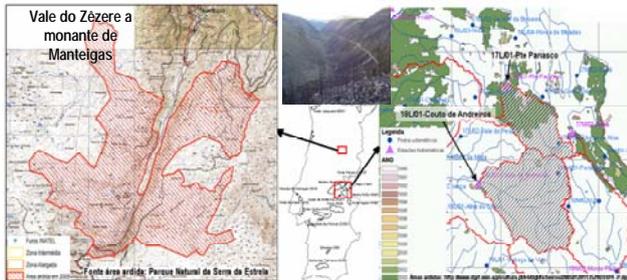


Área temática LNEC	Ambiente e Sustentabilidade / Água e Desenvolvimento Sustentável
Projecto de investigação	P1: Gestão integrada da água E7: Impacte de fogos florestais nas águas subterrâneas
Investigador responsável	João Paulo Lobo Ferreira
Processo nº	0607/14/15798



Objectivos

O objectivo principal deste estudo é contribuir para a análise do impacte dos fogos florestais nas águas superficiais e subterrâneas, nos seus aspectos qualitativos e quantitativos, tendo em consideração o tipo de coberto florestal da área ardida e o seu impacte para diferentes condições climáticas, morfológicas, geológicas e hidrológicas.

Os objectivos específicos do estudo são:

- Avaliação dos impactes dos fogos sobre os aspectos quantitativos do ciclo hidrológico nas suas componentes superficial (escoamento superficial, evapotranspiração) e subterrânea (recarga);
- Caracterização dos contaminantes da biomassa ardida que entram nos solos e no ciclo hidrológico;

- Avaliação do processo de fixação/libertação de poluentes em campo a partir da biomassa ardida e solos de áreas ardidas;
- Avaliação dos impactes dos fogos sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas;
- Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação quantitativa do impacte dos fogos sobre a qualidade das águas, aplicada a casos reais de estudo;
- Identificação, num enquadramento DPSIR, de um conjunto de medidas de mitigação e prevenção dos impactes dos fogos, discriminadas em obediência ao parâmetro R – Resposta da metodologia DPSIR.

Instalações experimentais mais relevantes

Foi utilizada a instalação de “Ensaio de Ignitabilidade” do Laboratório de Ensaio de Reacção ao Fogo (LNEC/LERF), onde foi realizada a queima de amostras de vegetação recolhidas nas áreas afectadas pelos fogos (Figura 1). A combustão desta vegetação processou-se em câmara aberta

com escoamento livre sem confinamento, de forma a melhor reproduzir as condições de incêndio em ambiente natural. Foi, também, criada uma instalação de campo que consiste num talhão de medição do escoamento superficial numa área ardida (Figura 2), além de um conjunto de locais de monitorização de águas superficiais e subterrâneas.



Figura 1 • Instalação de queima do material vegetal

Figura 2 • Talhão de medição de escoamento em área ardida

Principais desenvolvimentos

1. A avaliação do impacto dos fogos sobre o aspecto quantitativo do ciclo hidrológico incidiu sobre as componentes de escoamento e de recarga.

Na Ribeira de Nisa/Ponte Panasco e Couto de Andreiros, usando Couto de Andreiros como área de controlo, verifica-se a existência de alterações no comportamento relativo entre o escoamento das duas bacias, com dois pontos de rotura (Figura 3): 1.º - no fim do mês de Novembro de 2002; 2.º - em 31 de Julho de 2003 (período em que ocorreu o incêndio na bacia de Ponte Panasco). A direcção da alteração após o 2.º ponto de rotura é contrária ao que seria expectável de acordo com a literatura citada, caracterizando-se pela diminuição do rácio entre o escoamento de Ponte Panasco e o de Couto de Andreiros. Este comportamento pode dever-se a factores distintos pelo que se procuraram outras formas de analisar a informação.

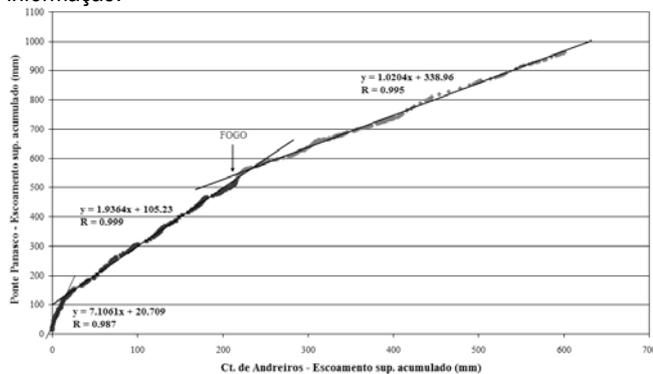


Figura 3 • Curva de dupla acumulação para o escoamento superficial (mm) na bacia de Ponte Panasco comparada com a bacia de Couto de Andreiros (período 12/07/2001 a 28/12/2006)

Utilizando anos hidrológicos com condições de precipitação semelhantes, o escoamento superficial total para a bacia de Ponte Panasco no ano hidrológico 2003/4 aumentou 76% face a 1982/83, e 63% face a 1988/9, o que pode ser atribuído ao fogo. Na detecção de alteração do caudal de ponta na bacia ardida de Ponte Panasco, os primeiros episódios de escoamento superficial a seguir ao fogo (ano hidrológico 2003/4) tiveram valores de escoamentos máximos diários superiores aos do mesmo período nos dois anos hidrológicos anteriores (Figura 4). Uma mais célere resposta do escoamento face à precipitação é também manifestada no início do ano hidrológico 2005/6, muito possivelmente ainda por efeito do fogo.

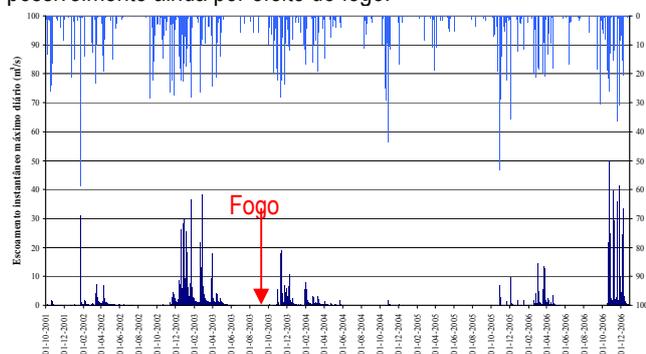


Figura 4 • Escoamento instantâneo máximo diário verificado antes e após o fogo na bacia de Ponte Panasco e precipitação diária correspondente

Na decomposição do escoamento superficial em escoamento directo e em escoamento de base, considerando o volume total de precipitação nos meses posteriores ao fogo, verifica-se um aumento no escoamento directo ligeiramente acima dos 100%, enquanto que na bacia de controlo o aumento do escoamento directo foi de apenas 32%. Esta divergência pode ser atribuída ao fogo, em resultado da destruição da vegetação (Figura 5).

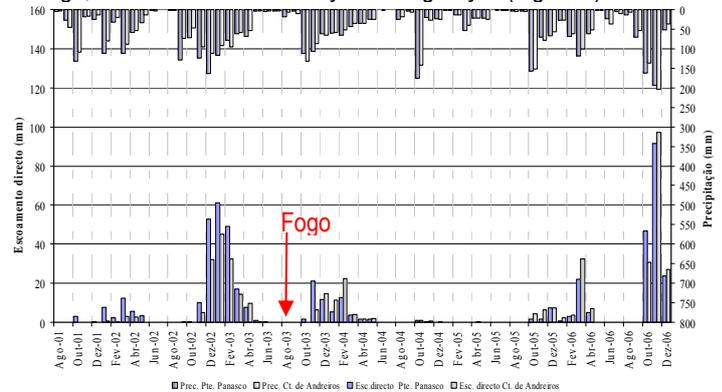


Figura 5 • Valores de escoamento directo e de precipitação na bacia de Ponte Panasco e de Couto de Andreiros

Nas alterações ao escoamento de base verifica-se uma redução do valor médio do escoamento de base na ordem dos 61%, no que concerne ao período antes e pós-fogo (diminuição de 0,36 mm/dia para 0,14 mm/dia), sendo parte deste facto resultante da diminuição da precipitação.

2. Na caracterização dos contaminantes da biomassa ardida que entram nos solos e no ciclo hidrológico procurou-se identificar os principais elementos químicos libertados pela biomassa de áreas ardidas e a sua fixação/libertação para as cinzas e solos, em função do tipo de coberto vegetal. Obtiveram-se os seguintes resultados para a biomassa: o carbono representa a maior percentagem de elementos formados (Figura 6), havendo um conjunto de elementos maiores (*e.g.* Ca, K, Mg, Na) que são formados e podem posteriormente ser lixiviados (Figuras 7, 8). O Mn revelou ser um elemento libertado em áreas com coberto vegetal de pinheiros (resultante da queima da agulha de pinheiros) (Figura 9).

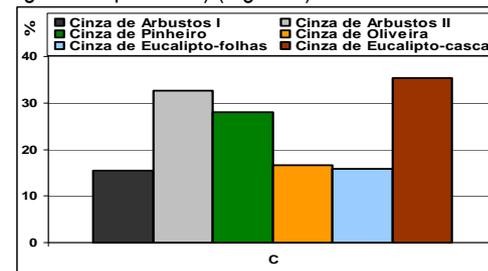


Figura 6 • Teores em C da biomassa (Lopes, 2008)

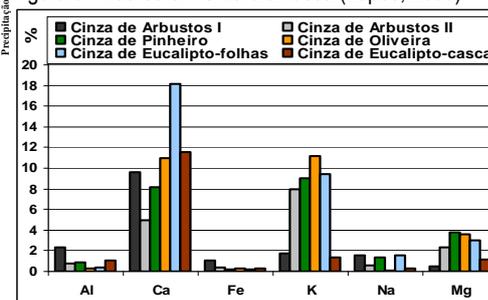


Figura 7 • Teores em Al, Ca, Fe, K, Na e Mg da biomassa (Lopes, 2008)

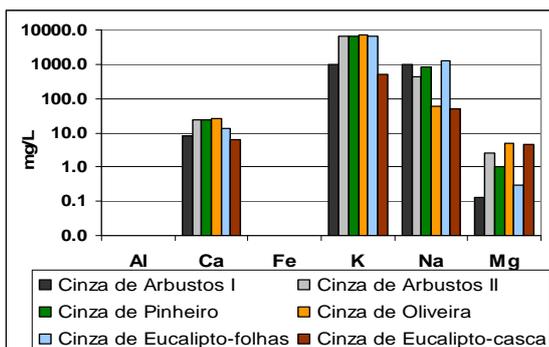


Figura 8 • Elementos maiores lixiviação de cinzas de biomassa (Lopes, 2008)

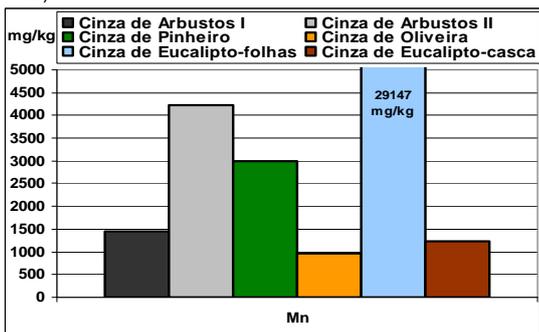


Figura 9 • Teores em Mn da biomassa (Lopes, 2008)

Como resultado da libertação de biomassa para os solos, identificou-se a concentração dos mesmos elementos nas cinzas, solos, cinzas + solos de áreas ardidas para um conjunto de elementos químicos (Figuras 10 e 11). As concentrações de alguns elementos nos lixiviados de solos e cinzas encontram-se na Figura 12.

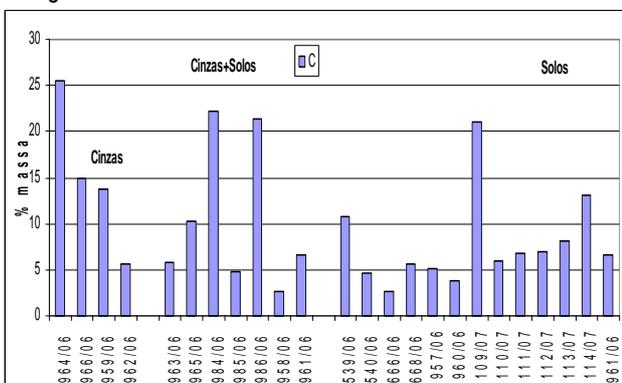


Figura 10 • Teores em C de cinzas e solos (Lopes, 2008)

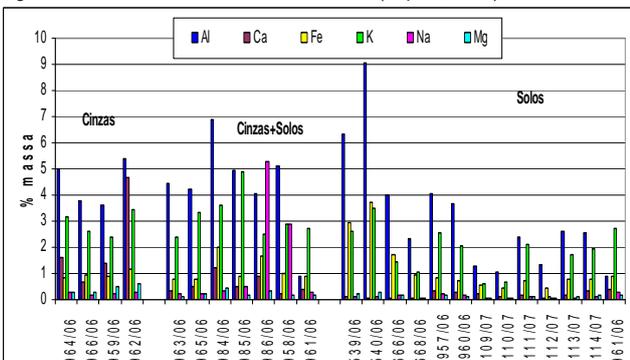


Figura 11 • Teores em Al, Ca, Fe, K, Na e Mg em cinzas e solos (Lopes, 2008)

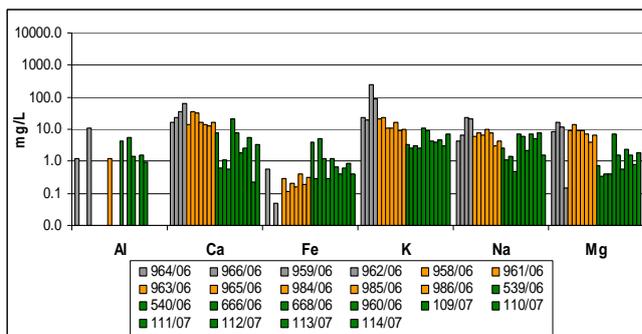


Figura 12 • Al, Ca, Fe, K, Na e Mg na lixiviação de cinzas e solos (a cinzento estão representadas as cinzas, a laranja as cinzas e solos e a verde os solos) (Lopes, 2008)

3. Na avaliação dos impactes dos fogos sobre a qualidade águas superficiais e subterrâneas, através da lixiviação da biomassa criada, obteve-se um conjunto de resultados que se procura resumir no quadro seguinte, na 3.^a coluna. No mesmo quadro apresentam-se os resultados obtidos em estudos equivalentes realizados noutros países (2.^a coluna).

Quadro 1 • Parâmetros detectados nos solos e águas de áreas ardidas

PARÂMETRO	ALTERAÇÃO VERIFICADA	POCI - Fogos
Carbono	Solos: ↓ e ♯; Água: ↓	MO ✓
Cálcio	Solos: ↓; Água: ↓ até 40 x no ano após fogo; rápida diluição e deposição	Ca ✗
Magnésio	Água: ↓ até 50 x no ano após fogo; rápida diluição e infiltração	Mg ✗
Azoto	Solos: ↓ (fogos baixa intensidade) e ♯ (fogos intensos devido a volatilização); Água: ↓ e ♯; > ≠ nas 2 semanas seguintes	NO3 ✗
Potássio	Solos: ↓ até 800 x; água: ↓ até 5 x; efeito de vários anos	K ✓
Sódio	Solos: ↗	Na ✗
Fósforo	Solos e água: ↓ até 3 x	P04 ✓
Sulfato	Solos e água: ↗	SO4 ✗
Manganés	Solos e água: ↓	Não analisado
Cobre	Solos: ligeiro ↓	Não analisado
Zinco	Solos: ligeiro ↓	Não analisado
CE		CE ✓
Si		Si ✓

As Figuras 13 e 14 apresentam dois exemplos onde é claro o aumento de elementos (e.g. potássio e sódio) na área ardida de Penhascoso.

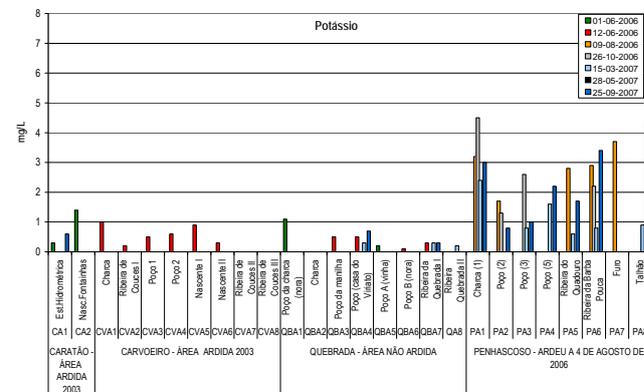


Figura 13 • Concentração em K nos pontos de água

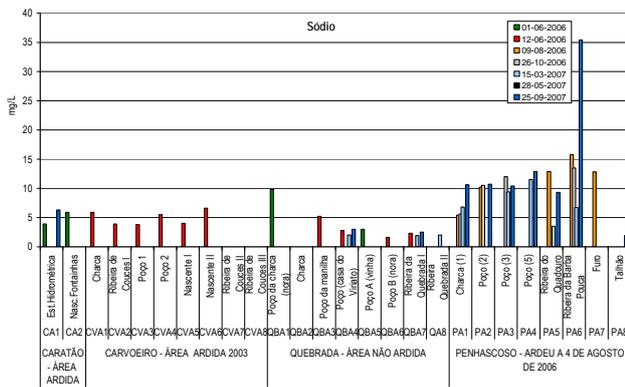


Figura 14 • Concentração de Na nos pontos de água

A análise do manganés foi efectuada especificamente para o rio Zêzere e indicou valores de 7810 µg/l na amostra de água de 30 de Outubro, o que pode dever-se ao arraste das cinzas para as águas do rio Zêzere. 5 dias mais tarde a água colhida no rio Zêzere tinha 14 µg/l; passados mais 7 dias já não havia Mn. 10 dos 16 HAPs prioritários pela US EPA foram identificados nos solos queimados de Penhascoso; os valores registados individualmente para os HAPs são bastante inferiores aos esperados. Nas amostras de solos recolhidas em 2007 já não se encontraram HAPs.

4. Na avaliação da biomassa das áreas afectadas pelos fogos obtiveram-se os seguintes resultados (Figura 16):

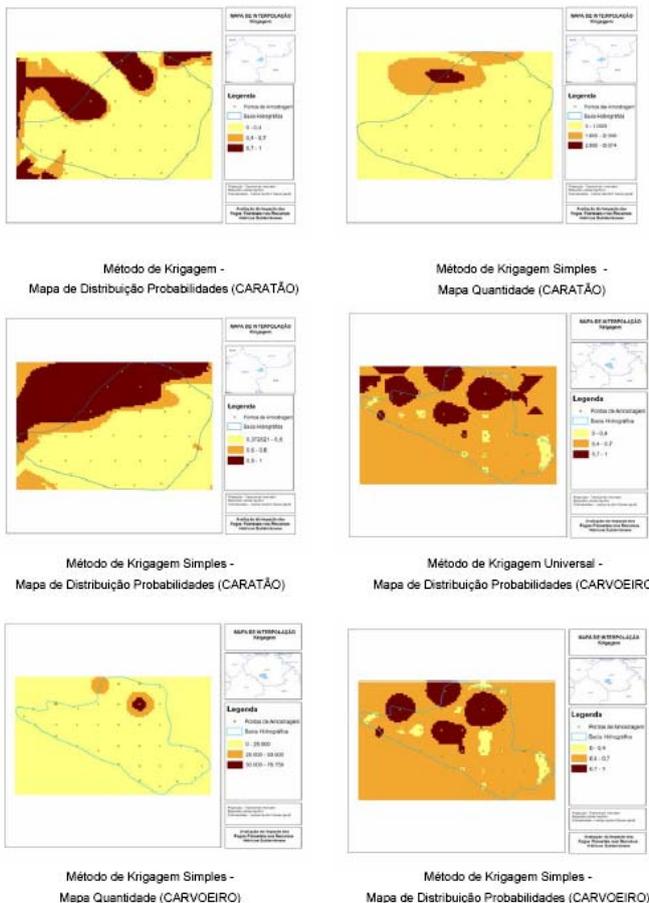


Figura 16 • Mapas de interpolação da biomassa – Krigagem (bacias de Caratão e Carvoeiro)

5. No desenvolvimento de uma metodologia de avaliação quantitativa do impacto dos fogos sobre a qualidade das águas, e sua aplicação a um caso real de estudo (bacia do Zêzere), considerou-se: 1.º a biomassa de uma área ardida, determinada em função dos valores e características dessa biomassa; 2.º a carga contaminante nas cinzas e solos, assim como a carga poluente em lixiviados; 3.º a recarga da área ardida; 4.º o volume de contaminantes que entram no meio subterrâneo (função do volume de recarga e da quantidade de contaminantes presentes na área ardida passíveis de entrar no ciclo hidrológico); 5.º os tempos de permanência do aquífero e o tempo que demora ao meio subterrâneo a recuperar da contaminação. Esta metodologia permitiu avaliar a carga poluente de um fogo sobre o meio hídrico subterrâneo, em função do tipo de vegetação ardida, da sua densidade de povoamento e de outras características locais. O Quadro 2 apresenta um exemplo do cálculo da recarga com os resultados para a região do rio Zêzere (3.º aspecto acima referido).

Quadro 2 • Recargas para diferentes cenários de precipitação eficaz na área do vale do Zêzere a montante de Manteigas

Ano	Precipitação anual média (mm)	Recarga (mm)	
		Cenário 1 = 15% Pp	Cenário 2 = 25% Pp
2005	1194.8	179.22	298.70
2006	1755.8	263.37	438.95
2007	933.1	139.97	233.28
Média		194.19	323.64
Recarga em volume (m³)			
Áreas (km²)	Cenário 1	Cenário 2	
Área total ardida = 31,01	6 021 677	10 036 128	
Área ardida dentro da bacia = 19,5	3 786 608	6 311 013	
Área total da bacia = 28	5 242 995	8 738 325	

6. Na identificação, num enquadramento DPSIR, de um conjunto de medidas de mitigação e prevenção dos impactes dos fogos, discriminadas em obediência ao parâmetro R – Resposta da metodologia DPSIR, as medidas mais significativas encontradas para a prevenção/mitigação dos efeitos dos fogos foram: a) Alteração à política de subsídios, com penalização aos indivíduos que provoquem fogos; b) Campanhas de informação ao sector populacional associado aos fogos ocupacionais, num contacto pessoa a pessoa; c) Constituição de brigadas de limpeza de matos e bermas de estrada, cuja actividade de limpeza decorra fora da época de fogos; d) Criação e funcionamento eficaz de equipas de vigilância e 1ª intervenção de combate ao fogo nas suas fases iniciais; e) Disseminação no terreno de material de combate aos fogos, como a colocação de motobombas pelas aldeias; f) Constituição de ZIF's (Zonas de Intervenção Florestal), para gestão florestal eficaz e competitiva; g) Pastoreio com caprinos em áreas propensas a fogos; h) Proibição da alteração do uso dos terrenos nas áreas ardidas; i) Uso de fogos controlados para limitar a intensidade, extensão e severidade dos fogos que se possam desencadear nessas áreas; j) Valorização dos resíduos da limpeza de matos; k) Código de boas práticas de gestão dos fogos, identificando locais e situações mais susceptíveis aos fogos, mecanismos de redução da biomassa combustível e outras práticas para reduzir a eclosão e escalada dos fogos.

Equipa de trabalho LNEC	Nome	Função
	João Paulo Lobo Ferreira	Investigador responsável
	Isabel Laranjeira	Estagiária de mestrado
	Manuel Mendes Oliveira	Investigador Auxiliar
	Teresa E. Leitão	Investigadora Principal
	Maria Emília Novo	Investigadora Auxiliar
	Nuno Martinho	Estágio curricular
	Maria José Henriques	Técnica superior de 2.ª classe

Equipa de trabalho Externa	Nome	Observações
	Paulo Fernandez Luís Quinta-Nova Rui Tujeira (aquisição de serviços) Susana Mestre (aquisição de serviços)	Escola Superior Agrária – Instituto Politécnico de Castelo Branco
	Maria Helena Lopes (DEECA) Márcia Freire (DEECA) Margarida Galhetas (DEECA) Eduardo Paralta (DH)	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI)
	António Louro	Vice-Presidente da Câmara Municipal de Mação

Outras fontes de financiamento

Fundação para a Ciência e Tecnologia (Programa FCT- POCI/AGR/59180/2004): Projecto “Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos” (Proc. 0607/14/15798)

Escola Superior Agrária de Castelo Branco (ESACB)

do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos". Relatório Final. LNEC, Lisboa, pp. 461 (in press).

Publicações mais relevantes nacionais

Relatórios

LOBO-FERREIRA, J.P.; OLIVEIRA M.M.; LEITÃO T.E.; GAMBOA, M.; FERNANDEZ P.; QUINTA-NOVA L.; LOPES M.H.; PARALTA, E.; FREIRE, M.; GOMES, S.; GALHETAS, M.; MATOS, C.; LARANJEIRA I.; TUJEIRA, R.; MESTRE, S. (2007) - "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos. Relatório de Execução Material" de 2006. POCI/AGR/59180/2004, LNEC.

LARANJEIRA, I.; OLIVEIRA, M. M.; LOBO FERREIRA, J. P.; LEITÃO, T.; PARALTA, E.; GAMBOA, M. (2007) – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos". Relatório de Progresso relativo ao ano de 2006. POCI/AGR/59180/2004, LNEC, Lisboa, pp. 44.

LARANJEIRA, I.; LEITÃO, T. (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". 3.º Relatório de Progresso relativo ao ano de 2007. LNEC. Relatório 63/2008 - NAS, 84 pp.

MARTINHO, N.; OLIVEIRA, M.M. (2008) – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos. Estudo do impacte dos fogos florestais na parte quantitativa do ciclo hidrológico". LNEC, Lisboa, pp. 133 (in press).

LOPES, M.H.; FREIRE, M.; GOMES, S.; GALHETAS, M.; MATOS, C. (2007) – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos". 2.º Relatório de Progresso". POCI/AGR/59180/2004, Janeiro a Dezembro de 2006, INETI/DEECA, pp. 15.

LOPES, M.H.; FREIRE, M.; GALHETAS, M. (2008) – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos". 3.º Relatório de Progresso". INETI/DEECA, pp. 16.

LOPES, M.H.; FREIRE, M.; GALHETAS, M. (2008) – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos". Relatório Final. INETI/DEECA, pp. 10 (in press).

LOBO FERREIRA, J.P.; OLIVEIRA, M.M.; FERNANDEZ, P.; QUINTA-NOVA, L.; LOPES, M.H.; PARALTA, E.; FRANCÉS, A.; LARANJEIRA, I. (2006) – "Avaliação do impacte de fogos florestais nos recursos hídricos subterrâneos". Relatório de Execução Material de 2005. POCI/AGR/59180/2004, LNEC.

FERNANDEZ, P.; QUINTA-NOVA, L.; TUJEIRA, R., MESTRE, S. (2007) – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos". POCI/AGR/59180/2004, Relatório de progresso relativo ao ano de 2006. ESACB, pp. 24.

QUINTA-NOVA, L.; FERNANDEZ, P.; TUJEIRA, R. (2008) – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos. Caracterização e análise do coberto vegetal lenhoso e o seu contributo para a produção de cinzas resultantes de incêndios florestais." Relatório de progresso relativo ao ano de 2007. ESACB, pp. 48.

NOVO, M. E.; LARANJEIRA, I.; OLIVEIRA, M. M.; MARTINHO, N.; LOPES, M.H.; QUINTA-NOVA, L.; FERNANDEZ, P.; TUJEIRA, R. ; ROQUE, N.; DIAS, S.; LOBO FERREIRA, J. P.; LEITÃO, T.; FREIRE, M.; GALHETAS, M.; GOMES, S.; MATOS, C. ; PARALTA, E.; GAMBOA, M. (2008) – "Avaliação

Reuniões técnico-científicas

LEITÃO, T.E.; LARANJEIRA, I. (2007) - "Impacte dos fogos florestais na qualidade da água" (comunicação oral). Apresentação efectuada ao workshop "Estratégias e respostas para minimizar o efeito do impacte dos fogos florestais na quantidade e na qualidade da água", organizado pelo Núcleo de Águas Subterrâneas do LNEC, 12 Dez 2007.

OLIVEIRA M.M.; MARTINHO, N. (2007) - "Estudo do impacte dos fogos florestais na parte quantitativa do ciclo hidrológico" (comunicação oral). Apresentação efectuada ao workshop "Estratégias e respostas para minimizar o efeito do impacte dos fogos florestais na quantidade e na qualidade da água", organizado pelo Núcleo de Águas Subterrâneas do LNEC, 12 Dez 2007.

LOBO FERREIRA, J.P. (2007) - "Avaliação do impacte de fogos florestais em recursos hídricos subterrâneos" (comunicação oral). Apresentação efectuada ao workshop "Estratégias e respostas para minimizar o efeito do impacte dos fogos florestais na quantidade e na qualidade da água", organizado pelo Núcleo de Águas Subterrâneas do LNEC, 12 Dez 2007.

TUJEIRA, R.; QUINTA-NOVA, L.; FERNANDEZ, P. (2007) - "Caracterização e análise do coberto vegetal e o seu contributo para a produção de cinzas resultantes de incêndios florestais" (comunicação oral). Apresentação efectuada ao workshop "Estratégias e respostas para minimizar o efeito do impacte dos fogos florestais na quantidade e na qualidade da água", organizado pelo Núcleo de Águas Subterrâneas do LNEC, 12 Dez 2007.

LOPES, H. (2007) - "Caracterização de cinzas de combustão" (comunicação oral). Apresentação efectuada ao workshop "Estratégias e respostas para minimizar o efeito do impacte dos fogos florestais na quantidade e na qualidade da água", organizado pelo Núcleo de Águas Subterrâneas do LNEC, 12 Dez 2007.

LOBO-FERREIRA, J.P.; OLIVEIRA M.M.; LARANJEIRA I.; LEITÃO T.E.; QUINTA-NOVA L.; FERNANDEZ P.; LOPES M.H.; PARALTA, E. (2007) – "Avaliação do impacte de fogos florestais em recursos hídricos subterrâneos". Comunicação apresentada no Seminário sobre Águas Subterrâneas, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa, 1 e 2 de Março de 2007. <http://www.aprh.pt/1e20307/pdf/18.pdf>

Organização de Encontros

Workshop sobre "Estratégias e respostas para minimizar o efeito do impacte dos fogos florestais na quantidade e na qualidade da água", organizado pelo Núcleo de Águas Subterrâneas do LNEC, 12 de Dezembro de 2008, LNEC.

Tese e Programas de Investigação

Trabalho de fim de curso

MARTINHO, N., 2007 – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos. Estudo do impacte dos fogos florestais na parte quantitativa do ciclo hidrológico". Relatório de estágio curricular da Licenciatura em Engenharia do Ambiente, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, do Instituto Politécnico de Leiria, sob a orientação do LNEC.