

PROCESSOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS INTENSOS NA SEQUÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM PORTUGAL: ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO

Adélia N. Nunes

Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), Departamento de Geografia da Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra
adelia.nunes@ci.uc.pt

Luciano Lourenço

Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), Departamento de Geografia da Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra
luciano@uc.pt

RESUMO

Este trabalho visa, através de estudos de caso, analisar a importância que a destruição do coberto vegetal, por ação do fogo, conjugada com chuvas intensas pode ter no desencadear ou no intensificar de processos hidrogeomorfológicos severos, com particular destaque para a ocorrência de cheias e inundações, bem como o transporte de grandes quantidade de detritos, imediatamente após o incêndio ou passados um ou dois anos.

Palavras-chave: Incêndios florestais, chuvas intensas, cheias e inundações, fluxos de detritos.

ABSTRACT

This work aims, through some studies case, to analyze the importance that the destruction of vegetation by fire, together with heavy rains can have in the triggering or in the intensifying of severe hydro-geomorphic processes, with particular emphasis on the occurrence of flooding and transporting of large amount of debris, immediately after the fire or one or two years later.

Key-words: Forest fires, heavy rains, floods, debris flows.

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais fazem parte integrante dos ecossistemas mediterrâneos, mas também representam na, atualidade, um dos seus principais fatores de degradação. Em Portugal continental, constituem o mais relevante problema ambiental e são frequentemente considerados a principal causa de degradação da camada edáfica superficial (Nunes *et al.*, 2013).

Com efeito, a passagem do fogo e a consequente destruição do coberto vegetal altera de forma significativa os processos hidrológicos e erosivos ao nível do solo. Vários estudos, realizados em diferentes partes do mundo, incluindo Portugal, têm demonstrado que, por vezes, a resposta ao nível do escoamento e perda de solo após incêndios são muito significativas, em particular nas etapas iniciais da chamada "janela de perturbação" ("*window of disturbance*") (Shakesby, 2011).

De um modo geral, na região mediterrânea é nos primeiros 4 a 6 meses, após o incêndio, que os solos demonstram maior suscetibilidade à erosão, devido à probabilidade de ocorrência de chuvas intensas no outono-inverno seguinte e ao seu elevado potencial em termos de erosividade (Sala *et al.*, 1994; Andreu *et al.*, 2001).

De facto, as relações entre o fogo e a resposta hidrogeomorfológica são mediadas pela vegetação, pelas propriedades do solo e pelas condições climático-meteorológicas de uma determinada área. A passagem do fogo destrói a cobertura vegetal e afeta as propriedades do solo; essas mudanças alteram o regime hidrológico do solo assim como o movimento de sedimentos ao longo das vertentes.

Embora os processo hidrogeomorfológicos ao nível do solo possam atingir o seu pico durante o primeiro ano após um incêndio, dependendo de múltiplos fatores, como por exemplo as características meteorológicas, o declive, o tipo de solos, a capacidade de regeneração das espécies vegetais presentes, a severidade do incêndio, entre outras, a "janela de perturbação" pode perdurar, muito para além do fenómeno em si e, em termos hidrogeomorfológicos, desencadear fenómenos com consequências catastróficas, de natureza irreversível, muito para além da área afetada pelo próprio incêndio (Lourenço, 1998; Lourenço e Fialho, 2007).

De acordo vários autores (Cannon 2005, Lourenço, 1998; Lourenço e Fialho, 2007), inundações e processos erosivos intensos, provocados por chuvas intensas e concentradas, estão entre as consequências mais danosas produzidas nas vertentes afetadas pelos incêndios. Desencadeiam, de igual modo, alguns dos mais significativos impactes para além da área percorrida pelas chamas, causando sérios danos nas infraestruturas públicas e na propriedade privada, o que constitui um motivo de stresse para a população afetada e, em alguns ocasiões, pode levar à perda de vidas humanas.

Em múltiplas ocasiões o potencial hidrológico e erosivo está dependente do clima e a manifestação de impactes mais severos, como por exemplo cheias rápidas e inundações, perdas de solo em grandes quantidades ou até mesmo movimentos em massa, que normalmente dependem da ocorrência de elevados quantitativos de precipitação durante esta "janela de perturbação", a qual se manifesta, em regra no ano subsequente, mas que pode ir até quatro, cinco ou mais anos, após o incêndio.

Na região mediterrânea, com um padrão de precipitação marcado por significativas variações, quer no tempo e no espaço, quer na quantidade e na duração, a ocorrência de elevados quantitativos de precipitação, em geral localizados, pode agravar substancialmente o risco de erosão pós-incêndio e estar na gênese de outros fenómenos, mais extremos, como cheias e inundações ou fluxos de detritos.

Com o presente trabalho pretende-se analisar alguns desses eventos intensos, ocorridos na sequência de incêndios, cujas implicações, tanto ao nível da resposta hidrológica como erosiva, não se limitaram à área percorrida pelas chamas, mas afetaram áreas muito para além do perímetro do incêndio. Assim, procura-se, inferir, através de vários estudos de caso, a importância que a destruição do coberto vegetal, por ação do fogo, conjugada com chuvas intensas, pode ter no desencadear ou na intensificação de processos hidrogeomorfológicos violentos, com particular ênfase nas cheias e inundações, assim como no transporte de grandes quantidades de cinzas e

outros detritos, vegetais e minerais, imediatamente após o incêndio ou mesmo passados um ou dois anos.

1. Enquadramento geral dos estudos de caso e metodologia de análise

Ao longo dos últimos anos tivemos ensejo de acompanhar algumas situações, sobretudo no Norte e Centro do país e de realizar vários estudos de caso (fig. 1), destacando-se, em termos cronológicos, os seguintes eventos:

- I. A enxurrada de 31 de Agosto de 2010, na Ribeira de Valverde e no rio Alva, Seia;
- II. As cheias e inundações de 25 de Outubro de 2006, Pombal;
- III. As enxurradas de 16 de Junho e 14 de Julho de 2006 nas bacias hidrográficas das ribeiras do Piódão e de Pomares, Arganil;
- IV. As enxurradas na serra da Senhora do Monte, no Outono de 2003, em Cortes, Leiria;
- V. O fluxo de detritos ocorrido no dia 7 Dezembro de 2000 no Lugar de Frades, freguesia de Portela, Arcos de Valdevez;
- VI. O fluxo de detritos de 16 de Outubro de 1993, ribeiro da Albagueira, Manteigas;
- VII. As enxurradas na ribeira do Souto, no Outono de 1991, nas imediações da Quinta de Belide, Colmeal, Góis;
- VIII. A Enxurrada de 23 de Junho de 1988 na ribeira de Pomares, Arganil.

Atendendo, à sua localização, pode dizer-se que os estudos de caso aqui apresentados ocorreram em diferentes litologias, quer em rochas granitóides, quer no complexo xisto-grauváquico e, ainda, em rochas calcárias, bem como em regiões com quantitativos de precipitação muito díspares, a oscilarem entre 800/900 e 2500 mm anuais.

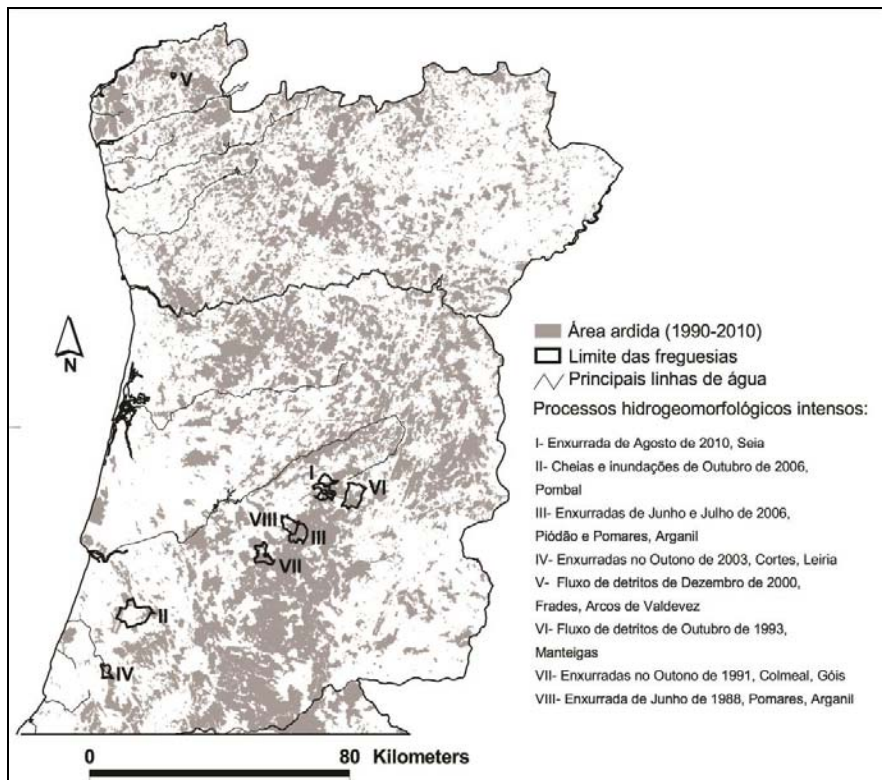


Figura 1. Localização dos estudos de caso resultantes da manifestação dos riscos hidrogeomorfológicos severos após incêndios florestais.

Em termos metodológicos, para a caracterização de cada um dos eventos, recorreu-se a bibliografia previamente publicada, à recolha de informações em jornais e à consulta de outros

documentos oficiais em suporte digital, como por exemplo atas camarárias. Os dados referentes aos incêndios foram recolhidos no portal do Instituto de Conservação da Natureza e Floresta (<http://www.icnf.pt/portal>) enquanto na caracterização do quadro pluviométrico antecedente foram utilizados os dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, do Instituto da Água (<http://www.snirh.inag.pt/>).

2. Incêndios florestais e subsequentes manifestações de riscos hidrogeomorfológicos severos

2.1. A enxurrada de 31 de Agosto de 2010, na Ribeira de Valverde e no rio Alva, Seia

O ano de 2010 foi no município de Seia, particularmente, catastrófico do ponto de vista de área ardida, tendo sido percorridos pelas chamas mais de 9000 ha. Um dos mais violentos incêndios decorreu em meados do mês de Agosto e percorreu uma vasta área, superior a 5000ha, do Parque Natural da Serra da Estrela, afetando as encostas sobranceiras às freguesias de Seia, São Romão, Lapa dos Dinheiro e Valezim.

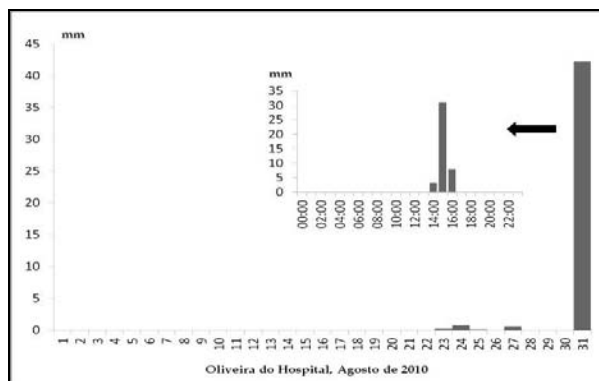


Figura 2. Precipitação diária registada no mês de Agosto de 2010 e distribuição horária no dia 31, no posto udométrico de Oliveira do Hospital.

Fonte: <http://snirh.pt/>



Fotografias 1 e 2. Fluxo de água e deposição de grandes quantidades de materiais na sequência da chuvada que afetou as vertentes a montante de Seia e São Romão.

No último dia do mês de Agosto, na sequência de um intenso episódio pluvioso vários bairros da cidade de Seia e de São Romão foram afetadas por inundações. Com efeito, tendo por base os dados do posto udométrico de Oliveira do Hospital, registaram-se entre as 14:00 e as 17:00 h cerca de 42mm, no entanto entre as 15:00 e as 16:00h, concentraram-se 31,2 mm (fig. 2). A grande quantidade de chuva, num curto período de tempo, provavelmente intensificada pelo efeito orográfico do relevo, desencadeou um intenso escoamento superficial, que rapidamente

engrossou o caudal e gerou um fluxo torrencial, naquela que os populares denominaram como “habitualmente **inofensiva ribeira de Valverde**”.

Com o caudal foram transportados inertes tanto minerais como vegetais, deixados pela passagem do fogo, (Fot.s 1 e 2), e, ainda, grandes quantidades de cinzas. Em Seia e São Romão, os prejuízos causados por esta enxurrada foram, principalmente, **materiais, devido às inundações, com a água a atingir 80 cm de altura em alguns edifícios, e à lama, que invadiu várias habitações e algumas infraestruturas e equipamentos públicos.**

No rio Alva, além do aumento instantâneo do caudal, as enormes quantidades de cinza e as partículas de pequena dimensão, visíveis pela tonalidade das águas, foram facilmente arrastadas pela força das águas que escorreram à superfície, obstruíram a grelha de retenção de materiais (fot. 3), contaminaram a captação de água feita na Senhora do Desterro, e colocaram em perigo as populações de vários concelhos (Seia, Gouveia e Oliveira do Hospital), cujo abastecimento é garantido a partir daquela captação.



Fotografia 3. Pormenor de uma grelha de retenção de materiais da barragem da Senhora do Desterro.

2.2.As cheias e inundações de 25 de Outubro de 2006, em Pombal

Por todo o município de Pombal, as cheias e inundações de 25 Outubro de 2006 (fig. 3) deixaram um rasto de destruição, causando a morte a uma idosa. O centro da cidade de Pombal ficou dois metros debaixo de água, 40 famílias foram retiradas para local seguro, o ‘shopping’ esteve em risco de ruir, as escolas e o centro de saúde fecharam e a ETAR do concelho deixou de funcionar. Dezenas de infraestruturas públicas ficaram danificadas devido às enxurradas (fot. 4). Os prejuízos foram avaliados em mais 6.700.000€, tendo sido acionado o Plano de Emergência Municipal (Ata da Reunião da Câmara, nº 0027/CMP/06, de 17-11-2006).

Com efeito, até ao dia 24 do mês de outubro de 2006 já se tinham registado quantitativos assinaláveis de precipitação, somando cerca de 230 mm, no posto udométrico de Pombal. Contudo, nas primeiras horas do dia 25 registaram-se 86,3 mm, concentrando-se entre a 1 e as 2h da manhã 53,9 mm, e na hora seguinte mais 20,7mm, o que fez 74,6 mm em apenas 2 horas (fig. 3). Note-se que a precipitação média do mês de Outubro ronda 88 mm. A concentração de tão elevados quantitativos de precipitação parecem, assim, por si só justificar a ocorrência destas cheias e inundações, todavia outros fatores se conjugaram na intensificação da descarga fluvial e no agravamento das consequências daí decorrentes.

Desde logo, o elevado coeficiente de torrencialidade apresentado pelo rio Arunca, sobretudo no sector que antecede o início do perímetro urbano da cidade, e em alguns dos seus afluentes, com destaque para a ribeira do Vale, o que torna estas bacias altamente suscetíveis à ocorrência de cheias rápidas. Acresce, por outro lado, o facto da cidade de Pombal ser atravessada pelo Rio Arunca e, para ele confluírem, em plena área urbana três ribeiras, as quais se encontram canalizadas em túneis, insuficientes para escoarem o fluxo de água, então, gerado. Assim, a expansão urbana da cidade de Pombal para Noroeste, (sentido da serra de Sicó), e por conseguinte, o aumento da superfície impermeabilizada nas vertentes do maciço calcário, a ocupação e o desvio do leito original das linhas de água que convergem para a cidade, ou seja, para as vertentes adjacentes ao ribeiro do Vale e ribeira do Outeiro Galegas originou que o encanamento do escoamento superficial para um túnel, cuja secção tem somente capacidade para

suportar 57% do caudal resultante de precipitações mais intensas ou concentradas (Ferreira, 2010).

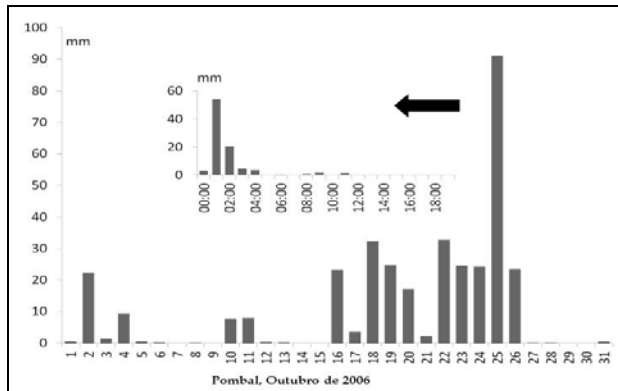


Figura 3. Precipitação diária registada no mês de Outubro de 2006 e distribuição horária no dia 25, no posto udométrico de Pombal.

Fonte: <http://snirh.pt/>



Fotografias 4. Conjunto de imagens da inundação e da acumulação de materiais, em Pombal.

Fonte: WWW.POMBAL.PT.TL

No entanto, outro dos fatores que terá potenciado as cheias e inundações neste município, assim como o transporte de grandes quantidades de materiais, relaciona-se com a destruição do coberto vegetal devido à ocorrência de incêndios florestais, sobretudo no ano anterior, alguns deles de grande dimensão, que afetaram as áreas de cabeceira do rio Arunca e as vertentes da ribeira do Vale. De facto, o ano de 2005 foi especialmente calamitoso em termos de incêndios florestais, tendo sido percorridos pelas chamas mais de 10000 ha, só no município de Pombal. De referir, ainda, as vastas áreas percorridas pelo fogo em anos anteriores, que correspondem a mais de 4000 ha na Serra de Sicó e no Alto Arunca.

Como refere Cunha (2003), a magreza e descontinuidade espacial dos solos e a generalizada falta de água à superfície condicionam o coberto vegetal que apenas assume feição florestal em pequenos retalhos e quase sempre em consequência da existência, sobre os calcários, de coberturas gresosas. Quer isto dizer que o processo de recuperação do coberto vegetal nas áreas percorridas pelo fogo será mais lento, dando "azo a que água da chuva caísse diretamente no solo arrastando tudo o que encontrava pela frente até às ribeiras que não tiveram

capacidade suficiente para receber tantos detritos” (Ata da Reunião da Câmara, nº 0025/CMP/06, de 27-10-2006). Por outro lado, a orientação do escoamento superficial devido à exposição das vertentes teve a propriedade de “canalizar” esse fluxo no sentido do perímetro urbano da cidade de Pombal (Ferreira, 2010).

2.3.As enxurradas de 16 de Junho e 14 de Julho de 2006 nas bacias do Piódão e Pomares, Arganil

Nos dias 16 de Junho e 14 de Julho de 2006 ocorreram, nas bacias hidrográficas das ribeiras de Pomares e do Piódão, dois episódios pluviométricos que originaram severos prejuízos materiais, financeiros e humanos, quer nas cabeceiras de algumas linhas de água, quer nos vales localizados a jusante, em consequência das cheias e inundações, mas também por causa da grande quantidade de materiais carregados. Com efeito, aproximadamente um ano antes, entre os dias 19 e 24 de Julho de 2005, um grande incêndio florestal, que devastou uma área de 15 837 hectares, afetou severamente grande parte das bacias das ribeiras de Pomares e Piódão.

O pluviómetro instalado na bacia de Piódão mostra a precipitação registada durante o mês de Junho, tendo sido totalizados 58 mm, distribuídos por 5 dias (fig. 4). Todavia, cerca de 50% da precipitação total concentrou-se no dia 16 de Junho, sendo que 22 mm ocorreram entre as 17:00-18:00 h. A forte concentração espacial e temporal da precipitação originou uma ponta de cheia que, por sua vez, provocou inundações e desencadeou uma série de efeitos erosivos com consequências bem nefastas (Lourenço e Fialho, 2007).

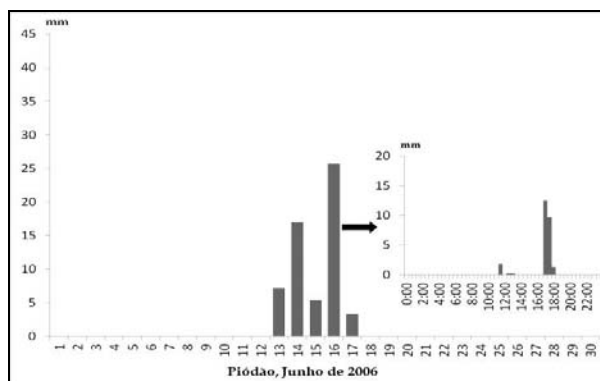


Figura 4. Precipitação diária registada no mês de Junho de 2006 e distribuição horária no dia 16, no Piódão.

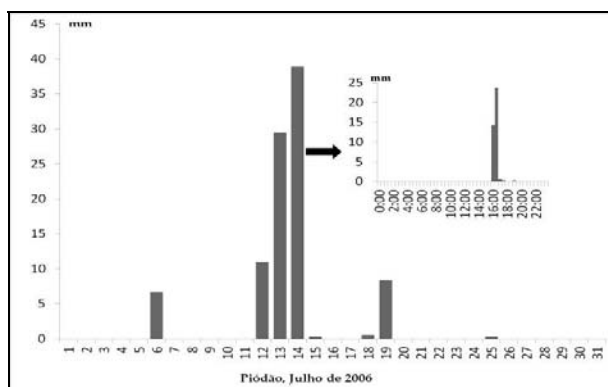


Figura 5. Precipitação diária registada no mês de Julho de 2006 e distribuição horária no dia 14, no Piódão.

Com efeito, ao longo da ribeira de Pomares e do Piódão os vestígios da ponta de cheia e das inundações, assim como o volume e o tamanho dos materiais transportados, tanto minerais como inertes vegetais, eram esclarecedores da violência deste evento (fig. 6). Por exemplo, na praia fluvial de Pomares as águas galgaram os 2,50 m de altura do dique lateral, mesmo com as

comportas abertas (fot. 5), inundando até à altura de um metro, o passeio ribeirinho a montante. Sob o vão da ponte de pedra existente poucos metros a montante do dique, foi-se acumulando uma enorme quantidade de detritos florestais oriundos dos vários afluentes.

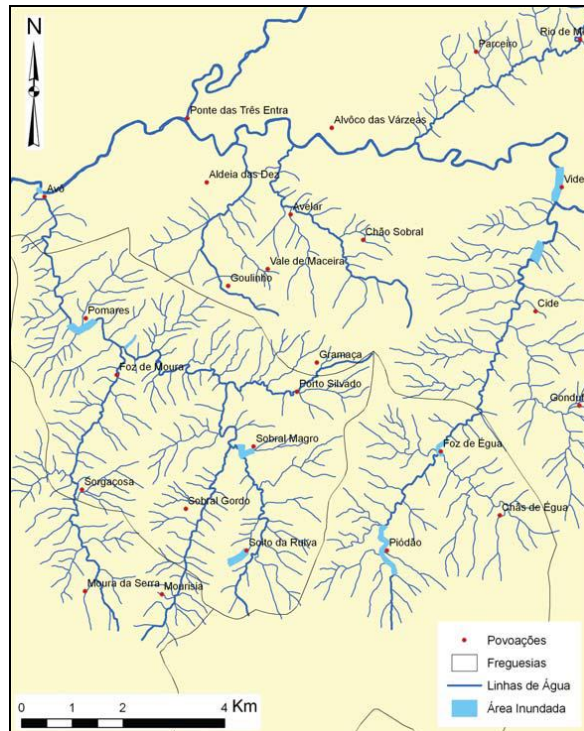


Figura 6. Localização das áreas mais afetadas no evento de 16 de Junho de 2006.



Fotografia 5. Aspeto da ponta de cheia no dique de suporte das comportas da praia fluvial de Pomes, as quais são visíveis sobre ele.

Mais a montante, na piscina de Sobral Magro, as consequências foram praticamente idênticas, a respetiva estrutura, com cerca de 2,50 metros de altura, ficou completamente obstruída, com toneladas de inertes minerais e vegetais trazidos pela corrente. A piscina fluvial de Soito da Ruiva ficou, igualmente, entulhada de sedimentos pequenos, médios e muitos de grandes dimensões, reduzindo substancialmente a sua profundidade. Na bacia do Piódão os efeitos hidrológicos erosivos foram também severos, com várias áreas a serem inundadas e a acumulação de quantidades enormes de sedimentos no leito da ribeira e inertes florestais nas

pontes e outras estruturas devido à "lavagem" das áreas ardidas. As piscinas fluviais do Piódão (fot. 6), Foz da Água e Vide (fot. 7) foram as mais afetadas.



Fotografia 6. Altura máxima do fluxo de água atingido na piscina fluvial do Piódão, nos dias 16 de Junho e 14 de Julho de 2006.



Fotografia 7. Acumulação de materiais, na ponte da Vide.

O episódio pluvioso do dia 14 de Julho ocorreu quase um mês depois e foi mais concentrado e intenso do que o evento anterior, afetando principalmente as cabeceiras da ribeira do Piódão (Pereira & Lourenço, 2007). A precipitação ocorrida no mês de Julho foi superior à de Junho, registando um total de 95 mm (fig. 5). Cerca de 70 mm caíram em apenas dois dias, 13 e 14 de julho, registando 30 milímetros e 39 milímetros, respetivamente. A chuva do dia 14 de Julho foi concentrada num único evento, que ocorreu entre as 16.00h e as 17.00h. A precipitação total na primeira meia hora foi de 14 mm, seguida por mais 24 mm, nos 30 minutos seguintes. O elevado valor horário de precipitação resultou numa rápida resposta da ribeira do Piódão e na ocorrência de um pico de cheia, com consequências bastante graves, não só devido às inundações que provocou mas também devido à capacidade e competência desta linha no transporte de sedimentos. A foto 4 mostra o volume de água acumulado na piscina fluvial do Piódão, no dia 14, inundou cerca de 1 metro acima do nível assinalado no dia 16 de junho, de acordo com as marcas

deixadas no edifício lateral, o balneário (fot. 6). O transporte de sedimentos foi de tal ordem que deixou a piscina completamente soterrada.

Além dos elevados danos provocados nas infraestruturas humanas, foi registada a perda de uma vida humana. Tratava-se de um turista, que foi apanhado desprevenido pela tempestade e pela torrente que se gerou na ribeira, tendo-se abrigado no exterior do balneário, acabando por ser arrastado pela cheia.

2.4.As enxurradas no Outono de 2003, serra da Senhora do Monte, na Cascalheira e em Vale Fernando, Cortes, Leiria.

Em 2 de Agosto de 2003, o denominado incêndio do Reguengo do Fetal, no Maciço Calcário Estremenho, devastou uma área de 2730 ha. No Outono seguinte, os efeitos erosivos mais evidentes aconteceram na serra da Senhora do Monte, mais precisamente da Cascalheira até ao Vale das Fontes (a Sul) e do Vale Fernando ao Vale da Abadia (a Nascente) tendo sido profusamente relatados pelo mensário regional, Jornal das Cortes. As frases, no referido jornal, eram esclarecedoras da ação erosiva das águas da chuva nos solos percorridos pelas chamas: “primeiro foi o fogo e as cinzas; após o fogo, aconteceu a enxurrada; o monte foi fustigado pela fúria das chamas; agora, são as águas indomáveis”.

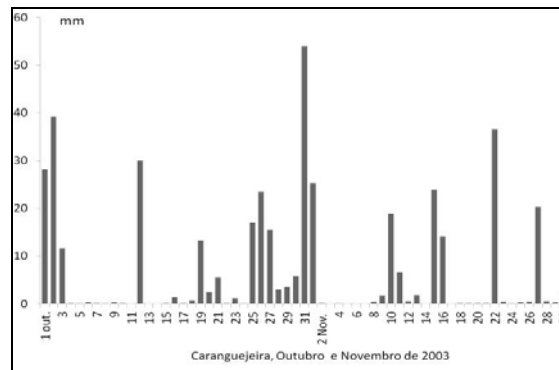


Figura 7. Precipitação diária registada, no posto udométrico de Caranguejeira, nos meses de Outubro e Novembro de 2003.

Fonte: <http://snirh.pt/>



Fotografias 8. “Enxurrada de carvão” após as primeiras chuvadas e intensa erosão do caminho da Cascalheira

Com efeito, as primeiras chuvas de Outono tiveram como consequências mais visíveis a “enxurrada de carvão”, que afetou sobretudo o lugar de Fontes (Foto 8, esquerda). Com as chuvas subsequentes, a registar quantitativos diários bastante elevados (fig. 7), como são disso exemplo os dias 11, 25 e, em particular, o dia 31 de Outubro em que se assinalaram cerca de 60mm, intensificaram os processos hidrogeomorfológicos, engrossando as correntes e escavando “vales e crateras e destruindo socacos” (foto 8, direita).

2.5.O fluxo de detritos de 7 Dezembro de 2000, no lugar de Frades, Portela, Arcos de Valdevez

O fluxo de detritos ocorrido no lugar de Frades, no dia 7 de Dezembro de 2000, provocou 4 mortos, a destruição de 4 casas e uma dezena de famílias desalojadas (fot.s 9). Este fluxo desencadeou-se na sequência de um longo período de chuvas, tendo-se registado nos 10 dias antecedentes cerca de 500mm. No dia 7 de Dezembro, dia em que ocorreu a tragédia, ocorreram cerca de 170mm, segundo os registos efetuados no posto udométrico de Extremo, um dos mais próximos do local (fig. 8).

Se as condições hidrometeorológicas se revelaram determinantes no desencadear deste movimento em massa, da análise efetuada por Pedrosa *et al.* (2001), outros fatores e características físicas sobressaem naquele local, os quais ajudam a explicar a sua génese e gravidade: o forte declive da vertente (30 a 35°); o contato entre 2 tipos de granitos, um de grão grosseiro, profundamente meteorizado, e um de grão fino, pouco alterado; o respetivo contato, que parece tratar-se de uma fratura a qual facilitou a infiltração da água e, ainda, a existência de um depósito quaternário, resultante da forte meteorização dos granitos, com 1 a 1,5 m de profundidade, que contribuiu para avolumar o fluxo de detritos, no decurso do seu movimento ao longo da vertente. Acresce, por outro lado, o facto da aldeia de Frades se encontrar no leito da torrente, portanto em pleno cone de dejeção dos materiais.



Fotografias 9. Capa do jornal “Notícias de Arcos” e foto do fluxo de detritos que afetou o lugar de Frades

Fonte: Jornal “Notícias de Arcos”

Contudo, os mesmos autores quiseram também salientar que naquela bacia de receção ocorreram vários incêndios nas duas décadas anteriores, os quais destruíram por completo a vegetação arbórea, deveras importante na estabilização destas vertentes. No último verão, portanto ainda em 2000, um incêndio consumiu o parco coberto vegetal, à base de comunidades herbáceas e arbustivas, que entretanto se tinha desenvolvido. Nestas circunstâncias, a ausência de árvores e de outra vegetação de porte inferior terá dificultado a fixação do solo e facilitado o deslizamento de terras.

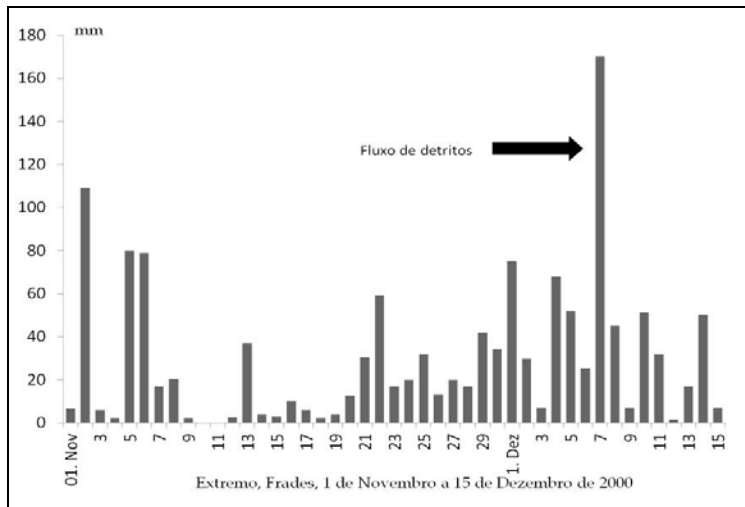


Figura 8. Precipitação diária registada, no posto udométrico de Extremo, entre 1 de Novembro e 15 de Dezembro de 2000.

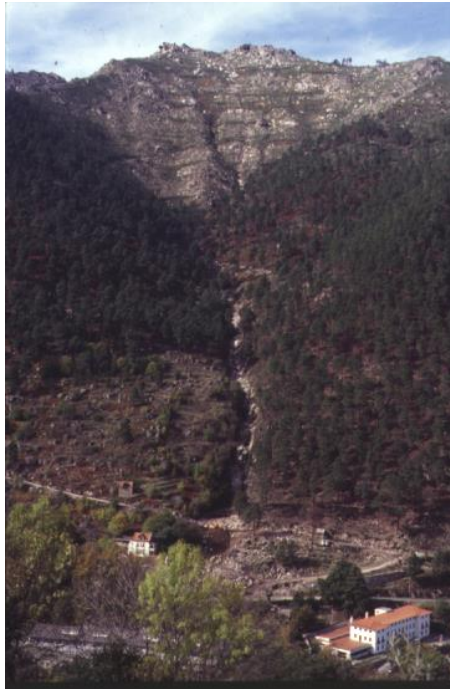
Fonte: <http://snirh.pt/>

2.6.O fluxo de detritos de 16 de Outubro de 1993, na bacia do ribeiro da Albugueira, Manteigas

No dia 16 de Outubro de 1993, o Hotel das Termas (INATEL), situado na confluência do ribeiro de Albugueira com o rio Zêzere, em Manteigas foi, no seu piso térreo, invadido pelas águas e ocupado por uma enorme carga sólida, cuja espessura atingia cerca de um metro em alguns locais. Com efeito, o aumento da carga sólida da corrente devido ao “desprendimento de terras” incrementou o seu poder de erosivo, deixando um rasto de destruição, em praticamente todo o leito do ribeiro, com especial destaque para os locais onde o Homem havia construído estadas ou outras infraestruturas. Os troncos queimados das árvores que ficaram abandonados pela corrente ajudaram a obstruir os aquedutos, facilitando a destruição das estradas (Lourenço, 1994).

O acentuado declive do perfil longitudinal do ribeiro de Albugueira (declive médio = 47,5%) associado às elevadas precipitações registadas na primeira quinzena de Outubro, a aproximarem-se de 400 mm, e à forte concentração de chuva, entre as 9 horas do dia 15 e as 9 horas do dia 16, período em que se assinalaram 152 mm, na estação meteorológica de Manteigas, terão sido fatores determinantes na génese da violenta corrente de águas sujas. Todavia, Lourenço (1994) salienta que a enxurrada não se pode atribuir apenas às elevadas precipitações, acrescentando que nem sempre que ocorrem valores elevados de precipitações se registam enxurradas.

De facto, dois anos antes, em Agosto de 1991, um incêndio florestal incinerou as áreas de cabeceira do ribeiro. Nestas circunstâncias, a ausência de árvores e de outros arbustos de grande porte, destruídos pelo fogo, dificultam a fixação do solo e facilitaram o deslizamento que ocorreu nas cabeceiras e que alimentou o transporte de grandes quantidades de materiais, aumentando substancialmente a carga da corrente e incrementando a sua capacidade de destruição (fot. 10).



Fotografia 10. Vista geral do ribeiro da Albugueira, em 1993, após o fluxo, sendo visível a bacia de recepção desnudada, o canal de escoamento “polido” pelo transporte de materiais e o cone de dejeção na base, com a estrada florestal cortada e o Hotel afetado.

2.7.As enxurradas no Outono de 1991, nas imediações da Quinta de Belide, Colmeal, Góis

Ainda que só muitos dias depois da sua ocorrência nos tivéssemos deslocado ao local, por a única estrada de acesso ter ficado intransitável, a situação foi semelhante a algumas das descritas anteriormente, com um incêndio florestal a destruir a vegetação da serra das Caveiras e, depois, precipitações intensas (> 30mm diários), particularmente nos dias 15 e 26 de Novembro e 1 de Dezembro (fig. 9), deram azo a fluxos de detritos que obstruíram não só aquedutos, tendo provocado o corte da estrada (fot. 11), mas também linhas de água, tendo levado ao reventamento dos diques laterais e consequente destruição dos campos agrícolas marginais, construídos na antiga linha de água. Na foto 12 pode observar-se a deposição de parte da carga sólida transportada e a cor acinzentada não deixa dúvidas quanto à presença de muita cinza.

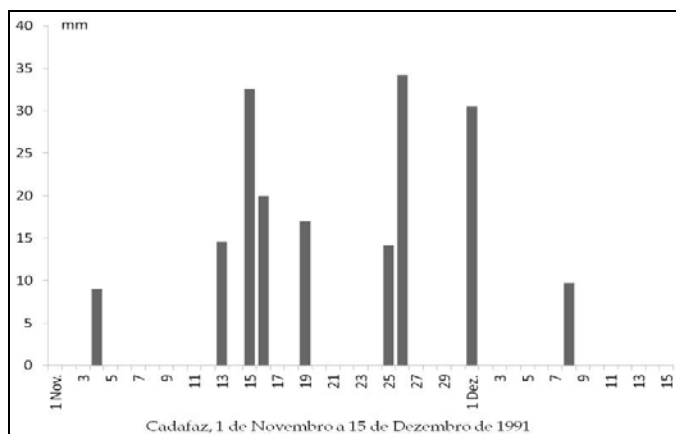


Figura 9. Precipitação diária registada, no posto udométrico do Cadafaz, entre 1 de Novembro e 15 de Dezembro de 1991.

Fonte: <http://snirh.pt/>



Fotografia 11. Pormenor da estrada que, por obstrução do aqueduto a montante, se transformou em linha de água.



Fotografia 12. Vista parcial de antigos campos agrícolas construídos na antiga linha de água que, por rebentamento do dique lateral, a montante, voltaram a ser invadidos pelas águas correntes.

2.8. A enxurrada de 23 de Junho de 1988 na ribeira de Pomares, Arganil

Um incêndio florestal de grandes proporções afetou, de 13 a 20 de Setembro de 1987, uma parte substancial da serra do Açor, nos concelhos de Arganil, Pampilhosa da Serra e Oliveira do Hospital, tendo percorrido, durante 7 dias consecutivos, cerca de 10 900 ha (Lourenço, 2004). Este foi o primeiro dos estudos que realizámos sobre erosão após incêndios florestais (Lourenço, 1988), alertando-nos para a importância deste fenómeno, pois, até então, era um assunto não investigado e, por conseguinte, quase desconhecido. De facto, os processos erosivos desencadeados na sequência de precipitações registadas em condições meteorológicas consideradas normais, durante o Outono e o Inverno imediatos ao incêndio (Lourenço, 1988) e, sobretudo no Verão seguinte, associadas ao temporal que, em 23 de Junho de 1988, se abateu sobre uma parte considerável da área afetada pelo incêndio, em particular na bacia hidrográfica da ribeira de Pomares, esteve na origem de processos hidrogeomorfológicos verdadeiramente violentos.

A incidência de que se revestiu na bacia hidrográfica da ribeira de Pomares, já supramencionada, e em particular, na área de confluência com o rio Alva, correspondente à praia fluvial de Avô (fot. 13), parece ter sido o prelúdio de uma situação que passou a repetir-se com demasiada frequência, quer nessa praia quer noutras do rio Alva, bem como noutras praias e piscinas fluviais dos seus afluentes.



Fotografia 13. Vista geral, em primeiro plano, do que restou da praia fluvial de Avô, após a enxurrada, uns dias depois do acontecimento. À direita, o inofensivo caudal da ribeira de Pomares, mas que dias antes foi responsável pelo sucedido.

Com efeito, a abundante precipitação que se registou na estação de Arganil mostra uma concentração anormal nos dias 21 e 23 de Junho, respetivamente 71 e 74 mm (fig. 10), possivelmente este último evento pluviométrico com maior incidência nas cabeceiras das ribeiras do Espinho e da Sorgaçosa, razão pela qual os acontecimentos assumiram particular significado na pequena aldeia da Sorgaçosa, onde a rotura de diques, a montante, conduziu as águas correntes para as antigas linhas de água, tendo destruído campos de cultura, danificado uma casa e deixando intransitável o largo da aldeia (fot. 14).

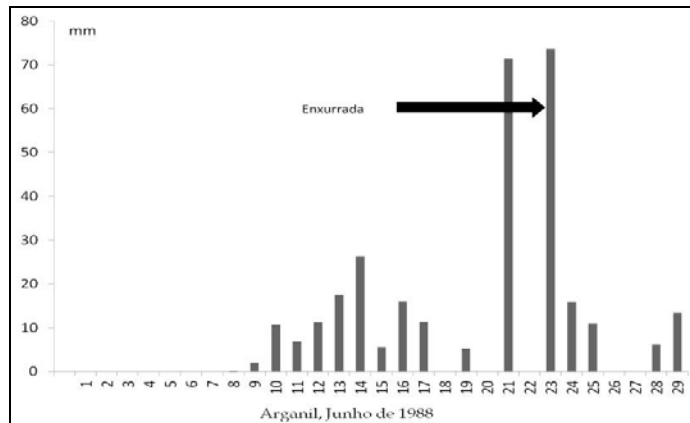


Figura 10. Precipitação diária registada, no posto udométrico do Arganil, no mês de Junho de 1988.

Fonte: <http://snirh.pt/>



Fotografia 14. Vista geral do largo da Sorgaçosa, após a enxurrada. A camioneta permite estimar a altura dos materiais abandonados sobre o asfalto.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A combustão do coberto vegetal devido à passagem de um fogo produz alterações muito significativas na camada edáfica superficial, no ciclo hidrológico e nos processos erosivos que atuam ao nível da vertente. A destruição do coberto vegetal deixa o solo exposto ao impacto direto das gotas de chuva, reduz a sua capacidade de retenção e armazenamento de água em consequência da perda de matéria orgânica do solo, diminuição da porosidade e aumento de substâncias hidrofóbicas, gerando quantidades de escorrência muito maiores (Lourenço, 1988, Moody & Martin, 2001; Ferreira *et al.*, 2010).

Os incêndios florestais provocam, também, alterações significativas em várias componentes do ciclo hidrológico, nomeadamente ao nível da interceção pela copa das árvores, na evapotranspiração para a atmosfera, na capacidade de infiltração dos solos, e nos processos pelos quais a água chega aos cursos de água e aos aquíferos, influenciando assim o caudal de base e os picos de cheia ao nível das bacias hidrográficas (Ferreira *et al.*, 2010).

Vários autores (Cerdà 1998; Moody & Martin, 2001) consideram que a diminuição da taxa de infiltração pode ocorrer por um período de 2 a 7 anos após a passagem das chamas, o que significa que se a intensidade da precipitação pós-incêndio for superior à respetiva capacidade de infiltração dos solos, gera-se escoamento superficial que pode aumentar substancialmente o caudal dos cursos de água e, por conseguinte, estar na génese de cheias e inundações.

Assim sendo, as bacias hidrográficas percorridas pelo fogo apresentam um risco hidrológico acrescido perante a ocorrência de chuvas intensas comparativamente às bacias não incineradas (Meyer *et al.*, 1995; Cannon *et al.*, 1998; Ferreira *et al.* 2008; Stoof, 2012). Na bacia hidrográfica percorrida pelas chamas, a quantidade de água que se infiltra no solo é reduzida, pelo que há uma parte importante da precipitação que se escoia sob a forma de escorrência assim que a camada de cinzas hidrofílicas se satura, sendo depois mobilizadas por esse processo. Os picos de cheia, alimentados pela escorrência de água que não se infiltra sequer no solo, são muito rápidos em resposta à queda de precipitação, regra geral de grande intensidade e concentrada num período de tempo relativamente curto.

A análise da relação entre a precipitação-escoamento sugere que no caso de bacias afetadas pelo fogo existe um limiar de intensidade para a precipitação, que se traduz numa mudança fundamental em termos de resposta hidrológica. Este limiar foi estimado por vários autores (Krammes & Rice, 1963; Doehring, 1968; Mackay & Cornish, 1982; Moody & Martin, 2001), em cerca de 10 mm h^{-1} . Assim, quando a intensidade da chuva se situa abaixo dos 10 mm h^{-1} a maior parte infiltra-se, podendo ocorrer alguns escoamento à superfície (Ronan, 1986), desencadear-se fluxos subsuperficiais que podem engrossar o caudal fluvial (Hewlett e Hibbert, 1967), e gerar um acréscimo nas descargas fluviais.

Acima de 10 mm h^{-1} , a intensidade da chuva parece exceder a taxa média de infiltração dos solos percorridos pelas chamas, gerando um escoamento superficial que é suscetível de produzir

cheias e inundações. Ainda a este propósito, Moody & Martin (2001) acrescentam que se a intensidade da chuva atingir os 20 mm h⁻¹, a resposta hidrológica poderá ser 27 vezes superior comparativamente a uma intensidade de 10 mm h⁻¹. E se a intensidade da chuva for de 55 mm h⁻¹, os mesmos autores estimaram que a resposta possa ser superior em cerca de 700 vezes.

Nos estudos de caso em que foi possível obter informação meteorológica horária, a concentração variou entre os 22mm h⁻¹, no dia 16 de junho de 2006, nas bacias do Piódão e Pomares e os 54 mm h⁻¹, em Pombal, na bacia do Arunca. Deste modo, não restam dúvidas que os mais importantes fatores a desencadear e a originar picos de cheia e inundações, de dimensões muito superiores ao que seria de esperar, nas várias bacias analisadas, foram a forte intensidade da precipitação horária, associada a solo recentemente percorridos pelas chamas ou cujo coberto vegetal seria muito incipiente, uma vez que os efeitos da passagem do fogo ainda seriam muito intensos. De salientar que a ausência de árvores ou de arbustos de grande porte, cujas raízes desempenham um efeito âncora que promove a estabilidade do solo, em todos os exemplos estudados, devido à passagem do fogo, por vezes mais do que uma vez num passado recente, foi um fator determinante na intensificação dos processos hidrogeomorfológicos, então, registados.

Contudo, há a salientar outros fatores potenciadores das cheias e inundações, destacando-se naturalmente o fator declive, que favorece os processos de escoamento à superfície e a respetiva velocidade progressão das águas. Assim, em áreas de acentuado declive, esta água que se encontra disponível à superfície desloca-se para jusante e, por força do volume crescente do escoamento e da influência do declive, acaba por incorporar materiais minerais e matéria orgânica vegetal, na sua maior parte composta por cinzas, troncos, ramos e raízes que as chamas não consumiram na totalidade. Com a movimentação dos materiais ao longo das vertentes, em direção às linhas de água, aumenta exponencialmente, tanto em volume, como em velocidade, o que acaba por contribuir para uma intensificação do fenómeno de destacamento e arraste, à medida que a massa de água e detritos se concentram ao longo das vertentes, canalizando-os para os vales situados na base das mesmas, podendo, depois, transportá-los muito para jusante, mesmo para áreas que não foram afetadas por incêndios (Pereira & Lourenço, 2007). Segundo Shakesby (2011) um evento pluviométrico intenso pode gerar 75% dos sedimentos erodidos durante um período longo de estudo, de 7 anos.

Assim, nos que se refere aos processos erosivos que se desencadeiam após o incêndio são geralmente provocados por um de dois processos: erosão superficial causada pelo impacto das gotas de chuva e pela concentração do escoamento superficial gerado, ou então deslizamentos de terras, em particular fluxos de detritos, resultantes da infiltração da precipitação. Estes últimos ocorrem sempre na sequência de chuvas prolongadas, ou na sequência de precipitações diárias antecedentes muito elevadas. De acordo com Johnson (2005) estes fluxos de detritos são, mais frequentemente, produzidos em vertentes íngremes (> 20°), em bacias de drenagem fortemente confinadas, com cerca de 65 % da área moderada ou severamente ardida, e com uma grande quantidade de material acumulado, suscetível de ser arrastado vertente abaixo. Por regra, não se estendem para além da parte vestibular das linhas de água, em bacias de pequena dimensão (Johnson, 2005).

Por último, merece ainda reflexão um outro aspeto fundamental que influencia a taxa de escoamento superficial e a eficácia no transporte de materiais ao longo da vertente, o qual se prende com a existência de obstáculos ao longo da encosta. Assim, além das descontinuidades geomorfológicas e de outras barreiras introduzidas pelo homem (estradas, terraços), é sabido que em Portugal, e nestas áreas em particular, não foram adotadas quaisquer medidas de mitigação pós incêndio, no sentido de criar obstáculos ao transporte de água e de materiais, entre as vertentes e os cursos de água. Daí que a resposta hidrogeomorfológica se manifestasse intensa tanta nas áreas afetadas pelo fogo como a jusante das áreas ardidas.

Nos estudos de casos aqui analisados registaram-se mortes de pessoas e importantes perdas de bens e infraestruturas privadas e públicas, sendo certo que os incêndios florestais, em Portugal, provocam incalculáveis prejuízos, ambientais, sociais e económicos. Há, portanto, necessidade, não só de implementar medidas que visem a redução das áreas ardidas, mas também de desenvolver métodos e ferramentas para identificar e quantificar os riscos potenciais colocados pelas inundações e transporte de detritos, gerados na sequência dos incêndios, ao nível da bacia. De facto, torna-se necessário melhorar as previsões da magnitude e recorrência destes fenómenos, após os incêndios, uma vez que se tem assistido ao incremento da população nas interfaces urbano-florestais, portanto mais suscetível a sofrer avultados danos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREU, V., IMESON, A. C., RUBIO, J.L. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena*, 2001, Vol. 44, p. 69–84.
- CANNON, S., POWERS, P. S., SAVAGE, W.Z. Fire-related hyperconcentrated and debris flows on Storm King Mountain, Glenwood Springs, Colorado, USA. *Environ. Geol.*, 1998, Vol. 35, p. 210–218.
- CANNON, S.H. & GARTNER, J.E. (2005). Wildfire-related debris flow from a hazards perspective. In HUNGR O. & JACOB M. (eds.), *Debris-flow hazards and related phenomena*, Springer-Praxis Books in Geophysical Sciences, 2005, p. 321–344.
- CERDÁ A. Post-fire dynamics of erosional processes under Mediterranean climatic conditions. *Zeitschrift fuer Geomorphologie Neue Folge*, 1998, Vol. 42, nº 3, p. 373–398.
- CUNHA, L. Maciço de Sicó. Valorização dos recursos naturais e criação de emprego a nível local. In CAETANO, L. (coord.), *Território, do Global ao Local e Trajectórias de Desenvolvimento*, Coimbra, 2003, p.185-198.
- DOEHRING, D. O. The effect of fire on geomorphic processes in the San Gabriel Mountains, California. In PARKER, R. B. (Ed.), *Contributions to Geology, Laramie*. University of Wyoming, Wyoming, 1968, p. 43–65.
- FERREIRA, A. Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas e áreas inundáveis no concelho de Pombal. Mestrado em Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2010, 156 p.
- FERREIRA, A.D., COELHO, C. O., SILVA, J. S., ESTEVES, T. Efeitos do fogo no solo e no regime hidrológico. In MOREIRA, F., CATRY, F. X., SILVA, J. S., REGO, F. (Eds), *Ecologia do fogo e gestão de áreas aridas*, ISA Press, Lisboa, 2010, p. 21-48.
- FERREIRA, A.J.D.; COELHO, C.O.A.; RITSEMA, C.J.; BOULET, A.K. & KEIZER, J.J. Soil and water degradation processes in burned areas: lessons learned from a nested approach. *Catena*, 2008, Vol. 74, p. 273–285.
- HEWLETT J. D. & HIBBERT AR. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In SOPPER, W.E. & LULL, H. W. (eds), *Forest Hydrology, Proceedings of a National Science Foundation Advance Science Seminar*, Pergamon Press, New York, 1967, p. 275–290.
- JOHNSON, M. L. Southern California-Wildfires and Debris Flows. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2005, 4 p., ISSN: 0196-1497.
- KRAMMES J.S. & RICE, R.M. Effect of fire on the San Dimas experimental forest. In: *Arizona Watershed Symposium, Proceedings 7th Annual Meeting*, Phoenix, Arizona, 1963, p. 31–34.
- LOURENÇO, L. A. enxurrada do ribeiro de Albugueira. III Congresso Florestal Nacional, Figueira da Foz, 15 a 17 de Dezembro, 1994, p. 1-9.
- LOURENÇO, L. A. Incêndios florestais, consequências e razão de ser de novas Mudanças Globais. *Geolnova*, 2004, vol.9, p. 45-64.
- LOURENÇO, L. e FIALHO, J. Precipitações intensas e prolongadas após incêndios florestais- O papel dos dos socacos na erosão e deposição. Exemplos de bacias hidrográficas afluentes aos rios Alva e Alvoco. In LOURENÇO, L. (Coord), *Riscos Ambientais e Formação de Professores (Actas das VI Jornadas Nacionais do Prosepe), Colectâneas Cindínicas VII, Projecto de Sensibilização e Educação Florestal e Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais*, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2007, p. 151-197.
- LOURENÇO, L. Efeitos do temporal de 23 de Junho de 1988 na intensificação da erosão das vertentes afetadas pelo incêndio florestal de Arganil/Oliveira do Hospital. *Comunicações e Conclusões, Seminário Técnico sobre Parques e Conservação da Natureza nos Países do Sul da Europa*, Faro, 1988, p. 43-77.
- LOURENÇO, L. Evolução de vertentes e dos solos, nas serras de xisto do centro de Portugal, em consequência de incêndios florestais. *Relatórios Técnico 8805, G.M.F.*, 1998, Coimbra, Portugal.
- LOURENÇO, L. Riscos de erosão após incêndios florestais. *Colectâneas Cindínicas V*, 2004, nº52, Coimbra, Portugal.
- MACKAY S.M. and CORNISH PM. Effects of wildfire and logging on the hydrology of small catchments near Eden, N.S.W. In *The First National Symposium of Forest Hydrology*, Vol. 82, nº 6, *Inst. Eng. Aust. Natl. Conf. Publ.*, 1982, p.111–117.

- MEYER, G. A., WELLS, S. G., JULL, A. J. T. Fire and alluvial chronology in Yellowstone National Park: Climatic and intrinsic controls on Holocene geomorphic processes. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1995, 107, p.1211–1230.
- MOODY, J.A., MARTIN, D.A. Initial hydrologic and geomorphic response following a wildfire in the Colorado Front Range. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, Vol. 26, p. 1049–1070.
- NUNES, A., LOURENÇO, L., BENTO-GONÇALVES, A., VIEIRA, A. Três décadas de incêndios florestais em Portugal: incidência espacial e principais fatores responsáveis. *Cadernos de Geografia*, 2013, vol. 32, Faculdade de Letras, Coimbra, p. 133-143.
- PEDROSA, A., LOURENÇO, L., FELGUEIRAS, J. Movimentos em massa. Exemplos ocorridos no Norte de Portugal, ENB, Revista Técnica e Formativa da Escola Nacional de Bombeiros, 2001, Vol. 17, Sintra, p. 25-39.
- PEREIRA, N. e LOURENÇO, L. Riscos de cheias e inundações após incêndios florestais. O exemplo das bacias hidrográficas das ribeiras do Piódão e de Pomares. In LOURENÇO, L. (Coord), *Riscos Ambientais e Formação de Professores (Actas das VI Jornadas Nacionais do Prosepe)*, Colectâneas Cindínicas VII, Projecto de Sensibilização e Educação Florestal e Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2007, p. 123-149.
- RONAN N.M. The hydrological effects of fuel reduction burning and wildfire at wallaby Creek. Melbourne and Metropolitan Board of Works, 1986, Report No. MMBW-W-0015; ISBN: 0724167382.
- SALA, M., SOLER, M., PRADAS, M. Temporal and spatial variations in runoff and erosion in burnt soils. In *Proceedings of the Second International Conference on Forest Fire Research*, 1994, Vol. II, Coimbra, Portugal, p. 1123–1134.
- SHAKESBY, R. A. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews*, 2011, Vol. 105, p. 71–100.
- STOOF, C. R., VERVOORT, R. W., IWEMA, J.; ELSEN, E., FERREIRA, A. J. D., RITSEMA C. J. Hydrological response of a small catchment burned by experimental fire. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2012, vol. 16, p. 267–285.

Webgrafia

- Ata da Reunião da Câmara, nº 0025/CMP/06, de 27-10-2006 (acedida em 10 de Setembro de 2013, em http://www.cm-pombal.pt/seu_municipio/doc_online/actas_reuniao/2006/Act25-06.pdf)
- Ata da Reunião da Câmara, nº 0027/CMP/06, de 17-11-2006 (acedida em 10 de Setembro de 2013, em http://www.cmpombal.pt/seu_municipio/doc_online/actas_reuniao/2006/Act27-06.pdf)

