

MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DA EROÇÃO EM CANAIS: APLICAÇÃO EM ÁREAS ARDIDAS NO NW DE PORTUGAL

MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DA EROÇÃO EM CANAIS: APLICAÇÃO EM ÁREAS ARDIDAS NO NW DE PORTUGAL

António Vieira
Universidade do Minho.
vieira@geografia.uminho.pt

António Bento Gonçalves
Universidade do Minho.
bento@geografia.uminho.pt

Luciano Lourenço
Universidade de Coimbra.
luciano@uc.pt

Adélia Nunes
Universidade de Coimbra.
adelia.nunes@fl.uc.pt

EIXO TEMÁTICO : RISCOS, SOCIEDADE E FENÔMENOS DA NATUREZA.

Resumo

Os impactes do fogo sobre o solo podem ser, como tem sido amplamente demonstrado (Certini, 2005; Neary *et al.*, 2005;. Cerdà e Robichaud, 2009a; Mataix-Solera e Cerdà, 2009;. Massman *et al.*, 2010), bastante significativos, afetando a estrutura do solo, a composição/propriedades físicas, a química e a comunidade microbiana (Neary *et al.*, 1999;. Doerr *et al.*, 2000;. Certini, 2005; Carballas *et al.*, 2009;. Doerr *et al.*, 2009;. Mataix-Solera *et al.*, 2009; Úbeda e Outeiro, 2009), bem como a infiltração de água no solo e a escorrência (Shakesby e Doerr, 2006; Cerdà e Robichaud, 2009b), levando assim à ocorrência de erosão do solo (Shakesby e Doerr, 2006; Moody e Martin, 2009) e sua degradação, quer pela perda de nutrientes (Raison *et al.*, 2009) quer pela remoção da componente mineral (Scott *et al.*, 2009; Shakesby, 2011).

O desenvolvimento e a implementação de medidas que promovam a redução desses impactes são, portanto, imperativos, e devem ser parte de qualquer estratégia para a defesa e recuperação da floresta e do solo, especialmente considerando o atual cenário de crescimento contínuo no número de incêndios e área ardida (Robichaud, 2009, 2010).

Consequentemente, face à realidade dendrocaustológica que tem caracterizado o território continental português nas últimas décadas, promoveu-se através do Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT) a implementação de um projeto de investigação com o objetivo de aplicação de diversas medidas de mitigação da erosão numa área ardida do Parque Nacional Peneda-Gerês, no NW de Portugal.

Este trabalho pretende, deste modo, apresentar as medidas aplicadas na área de estudo no âmbito do projeto Soil Protec, relativas aos processos desencadeados em canais, bem como os resultados das observações preliminares relativas à avaliação da eficácia dessas medidas de mitigação da erosão implementadas e sua relação custo/benefício.

PALAVRAS CHAVES: Medidas de mitigação da erosão em canais, avaliação da eficácia das medidas, erosão pós-incêndio, NW de Portugal.

Abstract

Fire impacts on soil can be, as it has been widely demonstrated (Certini, 2005; Neary *et al.*, 2005; Cerdà and Robichaud, 2009a; Mataix-Solera and Cerdà, 2009; Massman *et al.*, 2010), quite significant, affecting soil structure, physical, chemical and microbial composition/properties (Neary *et al.*, 1999; Doerr *et al.*, 2000; Certini, 2005; Carballas *et al.*, 2009; Doerr *et al.*, 2009; Mataix-Solera *et al.*, 2009).

al., 2009; Úbeda and Outeiro, 2009), as well as water infiltration into soil and runoff (Shakesby and Doerr, 2006; Cerdà and Robichaud, 2009b), leading thus to the occurrence of soil erosion (Shakesby and Doerr, 2006; Moody and Martin, 2009) and degradation, either by the loss of nutrients (Raison *et al.*, 2009) or by the removal of the mineral component (Scott *et al.*, 2009; Shakesby, 2011).

The development and implementation of measures which promote the reduction of these impacts is, therefore, imperative, and should be part of any strategy for forest and soil defense and recovery, especially considering the actual scenario of continuous growth in the number of fires and burnt area (Robichaud, 2009, 2010).

Consequently, with the dendrocaustologic reality that has characterized the Portuguese mainland in recent decades, a research project promoted by the Center for the Study of Geography and Spatial Planning (CEGOT) was implemented with the objective of apply several erosion mitigation measures in a burned area of the Peneda-Geres National Park in NW Portugal.

This paper therefore seeks to present the measures applied in the study area within the project Soil Protec, relating to channels triggered processes, and the results of preliminary observations concerning the evaluation of the effectiveness of erosion mitigation measures implemented and their cost/benefit ratio.

Key-words: erosion mitigation measures in channels; evaluation of the effectiveness of measures, post-fire erosion, NW Portugal.

Introdução

A intervenção na recuperação da floresta após incêndios florestais tem sido implementada há muito tempo, especialmente no “mundo mediterrâneo”, onde o fogo tem sido um fator natural e fundamental para a evolução da paisagem ao longo do tempo, mesmo antes da humanidade (Naveh, 1975; Pyne, 1982; Pausas *et al.*, 2008;. Mataix-Solera e Cerdà, 2009; Pausas e Keeley, 2009; Shakesby, 2011).

Nos Estados Unidos da América atividades de intervenção pós-fogo têm sido implementadas há já algumas décadas (desde a década de 1930, de acordo com Robichaud *et al.*, 2005), com equipas especializadas multidisciplinares que avaliam a necessidade e o tipo de medidas de tratamento para cada área queimada (Robichaud, 2009), aplicando programas específicos de avaliação para a intervenção em áreas de risco (BAER = Respostas de Emergência em Áreas Queimadas) (Napper, 2006). Também outros países afetados por incêndios florestais, tais como Austrália e Canadá, estão a promover amplas estratégias e planos de reabilitação pós-incêndios (Pike e Ussery, 2006; Robichaud, 2009).

Nos países europeus do Mediterrâneo os esforços das autoridades têm sido direcionados, principalmente, para as estratégias de restauração das áreas afetadas, e apenas nas últimas duas décadas os tratamentos de estabilização de emergência foram implementados, embora em menor escala. A importância deste problema nos países mediterrâneos da União Europeia alertou as autoridades para a necessidade de promoção do financiamento e desenvolvimento de projetos de investigação científica, como o EUFIRELAB, que teve como principal output um relatório sobre as ferramentas e metodologias adequadas para restaurar áreas queimadas (Vallejo, 2006). Concomitantemente, algumas iniciativas têm sido desenvolvidas, por exemplo, em Espanha (Bautista

et al., 1996;. Pinaya *et al.*, 2000;. Carballas *et al.*, 2009;. Vega, 2011) ou na Grécia (Raftovannis e Spanos, 2005).

As medidas de intervenção aplicadas após os incêndios são geralmente agrupados em três categorias (USA General Accounting Office, 2006; Robichaud, 2009), distintas entre si, tanto em termos de estratégias a implementar, como em termos de prazos para a sua implementação. As medidas de intervenção imediatas são designadas de procedimentos de “estabilização de emergência” e são implementados imediatamente após o incêndio (por vezes, antes mesmo de o fogo estar completamente controlado) e dentro do prazo de um ano, com os objetivos principais de controlar e reduzir a erosão do solo e proteger a vida, propriedade e recursos. Os principais procedimentos de estabilização de emergência são o “mulching” e a sementeira, as barreiras de troncos segundo as curvas de nível, as barreiras de troncos em canais (checkdams), entre outros (Neary *et al.*, 2005; Napper, 2006; Foltz *et al.*, 2009; Robichaud *et al.*, 2010). Na segunda categoria estão incluídos os procedimentos de “reabilitação”, implementados ao longo de um período de tempo superior, cerca de três anos após o fogo, e incluindo tarefas como a reparação de instalações ou a atenuação dos danos das terras sem capacidade de autorrecuperação. Finalmente, as estratégias de “restauração”, consideradas ações de longo prazo, e que são implementadas juntamente com as outras estratégias, mas têm aplicação temporal mais alargada, promovendo a restauração da qualidade do habitat e da produtividade e aumento da resiliência do habitat (Robichaud, 2009).

Estas medidas são amplamente implementadas (especialmente nos Estados Unidos), com a finalidade de promover a reabilitação eficaz de áreas queimadas e para mitigar os efeitos dos incêndios no solo e na vegetação. Mas, antes de decidir quais medidas adequadas para uma situação específica, temos que decidir que áreas precisam de medidas de proteção do solo. Como refere Robichaud (2010), a justificação para a aplicação de tratamentos pós-fogo é hoje em dia empreendida tendo em conta a necessidade de critérios diferentes: a perspetiva da prevenção da erosão do solo como objetivo final não é mais adequada, mas deve incluir a proteção “da segurança pública e dos recursos valiosos de danos ou perda provável” (pág. 23). O alto custo de quase todas as medidas citadas obrigam a analisar adequadamente o custo-benefício de cada tratamento em cada situação.

Na verdade, a maioria dos tratamentos pós-fogo são muito caros e não são adequados para aplicação em grandes áreas ardidas. A sua justificação só pode ser suportada quando um recurso de elevado valor está em risco ou vidas humanas ou infraestruturas.

A generalização da aplicação destas técnicas nas últimas décadas tem mostrado, no entanto, grande variabilidade na eficácia de cada técnica. Na verdade, a avaliação da eficácia das diferentes medidas de proteção do solo tem ocupado os investigadores nos últimos anos, tentando esclarecer algumas questões não respondidas (Robichaud *et al.*, 2000;. Robichaud, 2005; Wagenbrenner *et al.*, 2006;. Robichaud *et al.*, 2008;. Fernández *et al.*, 2010;. Fontúrbel *et al.*, 2010).

Embora a implementação de tratamentos pós-fogo de mitigação promova, sem dúvida, a proteção do solo contra a erosão e ajude a recuperação da vegetação, nalgumas áreas é preferível não

aplicar qualquer tipo de tratamento em áreas ardidas (Robichaud, 2009;. Bautista *et al.*, 2009). Além disso, a sua eficácia deve continuar a ser avaliada, bem como os seus impactes, a curto e longo prazo, sobre solo, água e plantas (Kruse et al, 2004;. Robichaud, 2009; Neary, 2009).

Objetivos

A maioria das medidas de proteção do solo após incêndios são relativamente dispendiosas e de difícil aplicabilidade.

Assim, o projeto Soil Protec (medidas de emergência para a proteção dos solos após incêndios florestais), desenvolvido na sequência de outros projetos de investigação relacionados com a problemática da erosão dos solos após incêndios florestais (Bento-Gonçalves *et al.*, 2008, 2010; Vieira *et al.*, 2009, 2010) tem como objetivo testar tratamentos de baixo custo para reduzir a erosão do solo imediatamente após os incêndios florestais de baixa/média severidade em povoamentos de *Pinus pinaster* no noroeste de Portugal (Bento Gonçalves *et al.*, 2011).

No contexto do presente trabalho, o nosso objetivo é testar um conjunto de medidas em canais onde se verifica a concentração da escorrência, procurando reduzir os processos de ravinamento e de remoção e transporte do solo através da implementação de estruturas, materiais e técnicas que favoreçam a retenção dos sedimentos e a colmatação de possíveis sulcos e ravinas pré-existentes.

As medidas serão avaliadas quer no que diz respeito à sua eficácia na mitigação da erosão, quer relativamente ao custo/benefício evidenciado.

Material e método

Na sequência de dois incêndios florestais que deflagraram nos dias 7 e 10 de Agosto de 2010, no concelho de Terras do Bouro (Figura 1), em pleno Parque Nacional Peneda-Gerês (NW de Portugal), resultou uma área ardida contínua de 3500 ha, que foi sujeita a diferentes intensidades e severidades do fogo.

Trata-se de uma área extensa, ocupada por matos e povoamentos de *Pinus pinaster*. A sua constituição litológica é essencialmente granítica, sendo os solos (cambissolos) na sua generalidade delgados e pedregosos. Esta área tem tido nos últimos 50 anos um uso essencialmente florestal, favorecido pelo clima, caracterizado por elevados quantitativos de precipitação.

Na prossecução dos objetivos inicialmente definidos, procedemos, então, ao reconhecimento de locais sensíveis aos processos de erosão linear na área atingida pelos incêndios florestais referidos, identificando-se uma área adequada (área de *Pinus pinaster* onde o fogo atingiu uma severidade média; Fotografia 1), na qual se definiram três pontos críticos onde estabelecemos medidas estruturais em canais, com o objetivo de promover a mitigação da erosão. De referir que esta área foi selecionada também porque se verificou uma significativa perturbação pós-incêndio, desencadeada pela extração da madeira queimada, por parte dos madeireiros, com a utilização de maquinaria pesada.

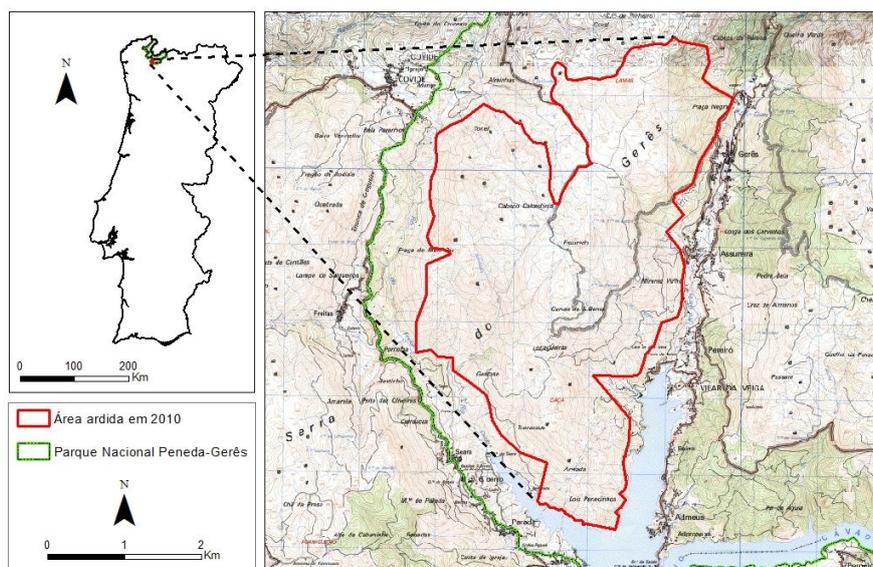


Figura 1. Localização da área de estudo.



Fotografia 1. Área selecionada para implementação das medidas de mitigação da erosão em canais.
(Sinalizadas com setas as linhas de circulação de água intervencionadas)

As medidas selecionadas para o efeito, como referimos anteriormente, tiveram uma aplicação especificamente nos canais, correspondentes às linhas de drenagem (efémeras ou de baixa ordem) das águas das vertentes da área de estudo, tendo como objetivo a alteração dos fluxos de água e sedimentos, de forma a diminuir a quantidade de solo arrastado para os cursos de água a jusante e consequente destruição de infraestruturas humanas ou culturas por ação de eventuais torrentes de detritos que pudessem ocorrer.

As técnicas implementadas foram as barreiras de troncos, as barreiras de palha e as barreiras de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma.

As primeiras (barreiras de troncos) obrigaram a meios mecânicos para a sua execução (motosserras e trator), constituindo uma técnica mais exigente ao nível dos custos, pois exigem também mais mão-de-obra para a sua execução (Fotografia 2A e 2B).

O princípio deste tipo de medidas é a aplicação de troncos de árvores recolhidos no local (diminuindo, assim, o custo inerente ao transporte de materiais externos à área) e dispostos perpendicularmente à linha de fluxo de água, de forma a constituir uma barreira aos sedimentos transportados pela vertente e no canal, permitindo a sua acumulação a montante, e diminuindo a velocidade da escorrência e, eventualmente, atenuando possíveis picos de escorrência. As acumulações de sedimentos poderão funcionar, posteriormente, como locais favoráveis à recuperação da vegetação. Na área em análise foram criadas duas barreiras de troncos (Fotografia 2A e 2B),



Fotografia 2A e 2B. Construção de barreiras de troncos.

As barreiras de palha, de mais simples implementação, têm por base os mesmos objetivos e princípios das barreiras de troncos. No entanto, a sua localização deve privilegiar locais de menor declive e canais de dimensões reduzidas. A colocação dos fardos de palha (Figura 2), preferivelmente entre as três e as cinco unidades, deve ser perpendicular à linha de água. É frequente a colocação de pedras (ou troncos) de forma a servir de suporte aos fardos. No caso da barreira de palha instalada na área em estudo (Fotografia 3A e 3B) foram colocados três fardos de palha, fixados por vergas de ferro no seu interior¹, e apoiados por blocos graníticos.

¹ A dureza do substrato granítico obrigou à utilização de vergas de ferro para a fixação dos fardos, ao invés das tradicionais estacas de madeira.

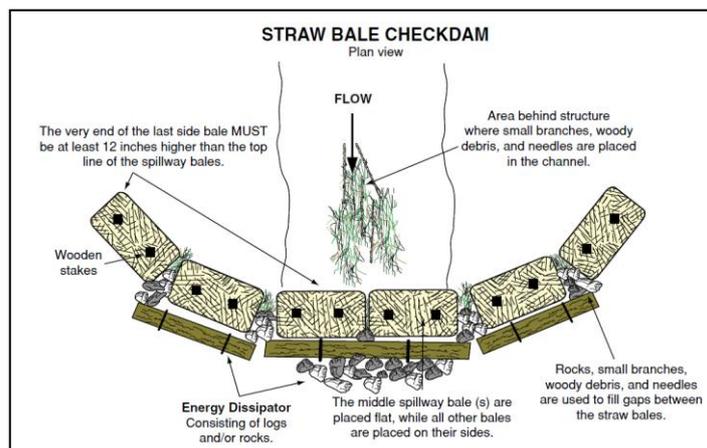


Figura 2. Esquema de instalação de barreiras de palha (Extraído de Napper, 2006).

A esta metodologia está associado o custo dos fardos de palha e respetivo transporte, sendo que a mão-de-obra tem uma importância menos significativa, sendo o manuseamento dos fardos fácil.



Fotografia 3A e 3B. Barreira de fardos de palha.

As barreiras compostas de ramos e de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma são elaboradas com recurso aos materiais existentes no local, sendo as mais económicas e de mais fácil implementação e que facilmente os madeireiros poderão implementar de forma sistemática após a extração da madeira. Constitui uma variante da técnica implementada nos EUA (Napper, 2006) em que são colocados ao longo dos cursos de água os topos das árvores cortadas (Figura 3).

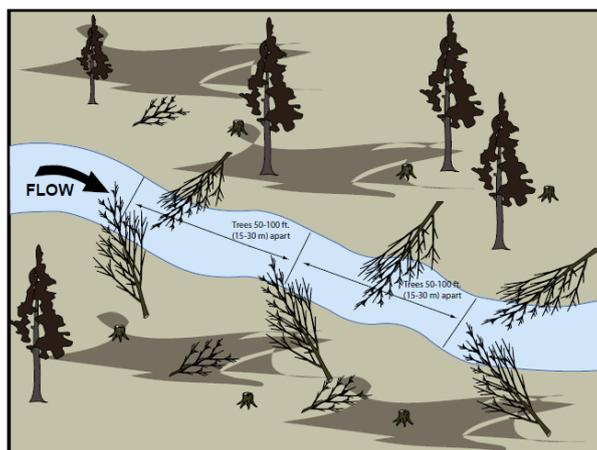


Figura 3. Esquema de colocação dos ramos das árvores ao longo dos cursos de água (Extraído de Napper, 2006).

No contexto da área de estudo, a intervenção de remoção da madeira (essencialmente os troncos, ainda com algum potencial económico), levou a que ficassem acumuladas grandes quantidades de ramos dos pinheiros e outros restos do corte, o que permitiu a implementação deste tipo de medida em diversos pontos das linhas de água intervencionadas, funcionando como medidas acessórias às referidas anteriormente. Este tipo de medida exige apenas alguma mão-de-obra, uma vez que todo o material necessário existe no local.

Resultados preliminares e conclusão

No âmbito do projeto Soil Protec procedemos à implementação de medidas de mitigação da erosão em canais, em áreas ardidas, no noroeste de Portugal. As técnicas empregues incluíram barreiras de troncos, barreiras de palha e as barreiras de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma. Foram instaladas no início do Inverno de 2011 e estão a ser monitorizadas, avaliando-se a sua eficácia no âmbito do controle sobre a erosão e consequente fixação dos sedimentos, com vista a uma análise final da sua relação custo/benefício.

Apesar do curto espaço de tempo decorrido desde a instalação das medidas, é possível retirar já algumas conclusões e apresentar aqui alguns resultados preliminares, embora ainda sem recorrer a quantificações.

Com efeito, os episódios chuvosos ocorridos após a instalação das medidas produziram uma significativa ação erosiva sobre as vertentes da bacia de drenagem intervencionada (a precipitação média anual nesta região é de cerca de 2500mm), conduzindo a uma intensa evacuação de sedimentos em direção aos canais onde circulam as linhas de água em que se instalaram as várias medidas. Foi, assim, possível constatar a eficácia destas técnicas, a partir das acumulações de sedimentos observadas

junto às mesmas.

Desta forma, verifica-se que todas as técnicas tiveram capacidade de retenção de sedimentos. Das duas barreiras de troncos instaladas, uma funcionou efetivamente como amortecedor do fluxo e permitiu a acumulação de sedimentos para montante (Fotografia 4).



Fotografia 4. Acumulação de sedimentos na barreira de troncos (limite pela linha tracejada).

No que diz respeito à barreira de fardos de palha, o seu papel na retenção de sedimentos foi também muito positivo (Fotografia 5). A sua eficácia neste parâmetro parece-nos bastante significativa, com a vantagem de permitir um escoamento adequado da água, não conduzindo facilmente a situações de rotura da estrutura pela retenção de grandes volumes de água. No entanto, este tipo de estrutura é menos sólido que as barreiras de troncos e terá um período de vida útil reduzido, provavelmente não superior a um ano.



Fotografia 5. Acumulação de sedimentos na barreira de fardos de palha (limite pela linha tracejada).

As barreiras de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma foram as que obtiveram resultados mais significativos. Com efeito, apesar da simplicidade e reduzido grau de elaboração desta técnica, a sua eficácia na retenção dos sedimentos é elevada. Em todas as barreiras deste tipo implementadas se verificou a retenção de sedimentos, nalgumas em grande quantidade, tendo em conta o tipo de estrutura (Fotografias 6, 7A e 7B).



Fotografia 6. Acumulação de sedimentos em barreira de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma.



Fotografia 7A e 7B. Acumulação de sedimentos em barreira de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma.

Em síntese, apesar do reduzido período de monitorização das estruturas de mitigação dos efeitos erosivos em áreas ardidas, as observações preliminares permitem-nos concluir que as técnicas aplicadas têm um significativo grau de eficácia na retenção de sedimentos transportados pelos canais de evacuação das águas de escorrência, contribuindo para a criação de “piscinas” de sedimentos que poderão funcionar como locais privilegiados para a recuperação da vegetação. Com efeito, é imperativo criar condições nestas áreas de montanha para que o pouco solo que ainda subsiste se mantenha, evitando, ao mesmo tempo, o seu transporte e deposição em áreas indesejáveis, a jusante, onde se encontram as povoações, uma barragem e outras infraestruturas humanas.

Por outro lado, estes resultados preliminares apontam já para alguma diferenciação das técnicas no que diz respeito à relação custo/benefício, sendo que as barreiras de restos do corte dos pinheiros ardidos e caruma se apresentam como uma medida de baixo custo e que apresenta resultados bastante satisfatórios no que à mitigação da erosão diz respeito.

Agradecimentos

Os autores desejam aqui deixar um vivo agradecimento ao Parque Nacional Peneda-Gerês na pessoa do seu Diretor, mas muito em especial à Eng^a. Maria do Carmo Oliveira por todo o apoio e incentivo que prestou ao Projeto e ao Sr. Manuel Rodrigues por um intenso dia de trabalho na instalação das barragens.

Referencias

Bautista, S., Bellot, J., Vallejo, V.R., 1996. **Mulching treatment for post-fire soil conservation in a semiarid ecosystem.** *Arid Soil Research and Rehabilitation* 10, 235-242.

Bautista, S., Robichaud, P.R., Bladé, C., 2009. Post-fire mulching. In: Cerdá, A., Robichaud, P. (Eds.), **Fire effects on soils and restoration strategies.** Science Publishers, New Hampshire, pp. 353-372.

Bento-Gonçalves, A. J., Vieira, A., Ferreira, A. D. e Coelho, C. 2008. **Caracterização geomorfológica e implementação de um sistema integrado de informação, em ambiente SIG, no âmbito do projecto RECOVER (Estratégias de remediação de solos imediatamente após incêndios florestais).** *Revista Geografia Ensino & Pesquisa*, V. 12, nº 1, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, p.3721-3735.

Bento-Gonçalves, A. J., Vieira, A., Ferreira-Leite, F. 2010. **Mitigation of erosion after forest fires: a geomorphological approach based in GIS modeling.** “*Actas das Jornadas Internacionales – Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales*”, Santiago de Compostela, p. 111-114.

Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Lourenço, L., Salgado, J., Mendes, L., Castro, A., Ferreira-Leite, F. 2011. **The importance of pine needles in reducing soil erosion following a low/medium intensity wildfire in Junceda (Portugal) - an experimental design.** *Fire Effects on Soil Properties. Proceedings of the 3rd international meeting of fire effects on soil properties*, Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento, CEGOT, Universidade do Minho, Guimarães, 181-185.

Carballas, T., Martín, A., González-Prieto, S.J., Díaz-Raviña, M., 2009. **Restauración de ecosistemas quemados de Galicia (N.O. España): Aplicación de residuos orgánicos e impacto de los retardantes de llama.** In: Gallardo, J.F. (ed.), *Emisiones de gases con efecto invernadero en ecosistemas iberoamericanos. Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental*, Salamanca, pp. 49-72.

Cerdà, A., Robichaud, P. 2009a. Preface, in: Cerdà, A., Robichaud, P. (Eds.), *Fire effects on soils and restoration strategies*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, pp. v-vii.

Cerdà, A., Robichaud, P. 2009b. **Fire effects on soil infiltration, in: Cerdà, A., Robichaud, P. (Eds.), Fire effects on soils and restoration strategies.** Science Publishers, New Hampshire, pp. 81-103.

Certini, G., 2005. **Effects of fire on properties of forest soils: a review.** *Oecologia* 143, 1-10.

Doerr, S.H., Shakesby, R.A., Walsh, R.P.D., 2000. **Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance.** *Earth-Science Reviews* 51, 33-35.

Doerr, S.H., Shakesby, R.A., MacDonald, L.H., 2009. **Soil water repellency: a key factor in post-**

fire erosion. In: Cerdá, A., Robichaud, P. (Eds.), **Fire effects on soils and restoration strategies.** Science Publishers, Enfield, New Hampshire, pp. 197-223.

Fernández, C., Vega, J.A., Jiménez, E., Fontúrbel, M.T., 2011. **Effectiveness of three postfire treatments at reducing soil erosion in Galicia (NW Spain).** *International Journal of Wildland Fire* 20, 104-114.

Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A. 2011. **The recurrence interval of forest fires in Cabeço da Vaca** (Cabreira Mountain - Northwest of Portugal). *Environmental Research* 11, 215-221.

Foltz, R.B., Robichaud, P.R., Rhee, H. 2009 . **A synthesis of postfire road treatments for BAER teams: methods, treatment effectiveness, and decisionmaking tools for rehabilitation.** Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-228, U.S.D.A., Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 152 p.

Fontúrbel, T., Díaz-Raviña, M., Vega, J.A., González-Prieto, S.J., Fernández, C., Martín, A., Jiménez, E., Carballas, T., 2010. **Application of different post-fire treatments in ecosystems from N.W. Spain: effectiveness on soil erosion control and impact on soil-plant system.** In: Díaz Raviña, M., Benito, E., Carballas, T., Fontúrbel, M.T., Vega, J.A. (Eds.), **Proceedings of the International Workshop Research and post-fire management: soil protection and rehabilitation techniques for burnt forest ecosystems.** Santiago de Compostela, pp. 167-170.

Kruse, R., Bend, E., Bierzychudek, P. 2004. **Native plant regeneration and introduction of non-natives following post-fire rehabilitation with straw mulch and barley seeding.** *Forest Ecology and Management* 196, 299-310.

Massman, W.J., Frank, J.M., Mooney, S.J., 2010. **Advancing investigation and physical modeling of first-order fire effects on soils.** *Fire Ecology* 6 (1), 36-54.

Mataix-Solera, J., Cerdà, A., 2009. **Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos,** in: Cerdà, A., Mataix-Solera, J. (Eds.), **Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España.** El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. FUEGORED, Cátedra Divulgación de la Ciencia, Universitat de Valencia, Spain, pp. 27-53.

Mataix-Solera, J., Guerrero, C., García-Orenes, F., Bárcenas, G.M., Torres, M.P., 2009. **Forest fire effects on soil microbiology,** in: Cerdá, A., Robichaud, P. (Eds.), **Fire effects on soils and restoration strategies.** Science Publishers, Enfield, New Hampshire, pp. 133-175.

Moody, J.A., Martin, D.A.. 2009. **Synthesis of sediment yields after wildland fire in different rainfall regimes in the western United States.** *Int. J. Wildland Fire* 18 (1), 96-115.

Napper, C. 2006. **Burned Area Emergency Response treatments catalog.** USDA Forest Service. National Tech. and Development Program. Watershed, Soil, Air Management 0625 1801-SDTDC.

Naveh, Z., 1975. The evolutionary sequence of fire in the Mediterranean region. *Vegetatio* 29, 199–208.

Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, F.F., Ffolliott, P.F., 1999. **Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis.** *Forest Ecology and Management* 122, 51-71.

Neary, D.G., Ryan, K.C., DeBano, L.F. (Eds.), 2005. (revised 2008). **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water.** Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 pp.

Neary, D.G., 2009. **Post-wildland fire desertification: Can rehabilitation treatments make a difference?** *Fire Ecology* 5 (1), 129-144.

Pausas, J.G., Llovet, J., Rodrigo, A., Vallejo, V.R., 2008. **Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin?** A review. *International Journal of Wildland Fire* 17, 713–723.

Pausas, J.G., Keeley, J.E., 2009. **A burning story: The role of fire in the history of Life.** *BioScience* 59, 593–601.

Pike, R.G., Ussery, J.G., 2006. **Key points to consider when pre-planning for post-wildfire rehabilitation.** FORREX Forest Res. Extension Partnership, FORREX Series 19, Kamloops, Canada.

Pinaya, I., Soto, B., Arias, M., Díaz-Fierros, F., 2000. **Revegetation of burnt areas: Relative effectiveness of native and comercial seed mixtures.** *Land Degradation and Development* 11, 93-98.

Pyne, S.J., 1982. **Fire in America: a cultural history of wildland and rural fire.** University of Washington Press, Seattle, Washington, 654 p.

Raftoyannis, Y., Spanos, I., 2005. **Evaluation of log and branch barriers as post-fire rehabilitation treatments in a Mediterranean pine forest in Greece.** *Int. Journal of Wildland Fire* 14, 183-188.

Raison, R.J., Khanna, P.K., Jacobsen, L.S., Romanya, J., Serrasolses, I., 2009. **Effects of fire on**

forest nutrient cycles, in: Cerdá, A., Robichaud, P. (Eds.), **Fire effects on soils and restoration strategies**. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, pp. 225-256.

Robichaud, P.R., 2005. **Measurement of post-fire hillslope erosion to evaluate and model rehabilitation treatment effectiveness and recovery**. *Int. Journal of Wildland Fire* 14, 475-485.

Robichaud, P., 2009. **Post-fire stabilization and rehabilitation**, in: Cerdá, A., Robichaud, P. (Eds.), **Fire effects on soils and restoration strategies**. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, pp. 299-320.

Robichaud, Peter, 2010. **After the smoke clears: post-fire erosion and rehabilitation strategies in the United States**, in: Díaz Raviña, M., Benito, E., Carballas, T., Fontúrbel, M.T., Vega, J.A. (Eds.),

Proceedings of the International Workshop Research and post-fire management: soil protection and rehabilitation techniques for burnt forest ecosystems. Santiago de Compostela, 6-8 Octubre, pp. 23-25.

Robichaud, P.R., Beyers, J.L., Neary, D.G. 2000. **Evaluating the effectiveness of postfire rehabilitation treatments**. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-63. Fort Collins: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 85 p.

Robichaud, P.R., Beyers, J.L., Neary, D.G., 2005. **Watershed Rehabilitation**. In: **Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on soil and water**. USDA Forest Serv., Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR 42-4.

Robichaud, Peter R.; Ashmun, Louise E.; Sims, Bruce D. 2010. **Post-fire treatment effectiveness for hillslope stabilization**. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-240. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 62 p.

Scott, D.F., Curran, M.P., Robichaud, P., Wagenbrenner, J.W., 2009. **Soil erosion after forest fire**, in: Cerdá, A., Robichaud, P. (Eds.), **Fire effects on soils and restoration strategies**. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, pp. 177-195.

Shakesby, R.A., 2011. **Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions**. *Earth-Science Reviews* 105, 71–100.

Shakesby, R.A., Doerr, S.H., 2006. **Wildfire as a hydrological and geomorphological agent**. *Earth*

Science Reviews 74, 269–307.

Úbeda, X., Outeiro, L., 2009, **Physical and chemical effects of fire on soil**, in: Cerdá, A., Robichaud, P. (Eds.), **Fire effects on soils and restoration strategies**. Science Pub., New Hampshire, pp. 105-132.

US General Accounting Office, 2006. **Wildland fire rehabilitation and restoration: Forest Service and BLM could benefit from improved information on status of needed work**. GAO-06-670. Washington D.C.

Vallejo, R. (ed.) 2006. **Ferramentas e metodologias para o restauro de áreas ardidas**. EUFIRELAB, EVR1-CT-2020-40028, Report D-04-08, 90 p.

Vega, J.A., 2011. **Criteria to develop protocols for post-wildfire soil rehabilitation: current experience in Galicia (NW Spain)**, in: Bento-Gonçalves, A., Vieira, A. (Eds.), Proceedings of the 3rd International Meeting of Fire Effects on Soil Properties. University of Minho, Guimarães, Portugal, pp. 99-103.

Vieira, A. A. B., Gonçalves, A. J. B., Martins, C. O., Loureiro, E. 2009. **Sistema integrado de informação, em ambiente SIG, aplicado à erosão de solos na sequência de incêndios florestais**. Geo-Working Paper, Série de Investigação 2009/20, Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento, Universidade do Minho.

Vieira, A., Bento Gonçalves, A. J., Martins, C e Ferreira Leite, F. 2010. **An integrated information system to support research on soil erosion mitigation techniques after forest fire**. “Actas do V Congresso Nacional de Geomorfologia”, 8 a 11 de Dezembro de 2010, Apegeom, Porto,. CD-Rom.

Wagenbrenner, J.W., MacDonald, L.H., Rough, D., 2006. Effectiveness of three post-fire rehabilitation treatments in the Colorado Front Range. Hydrological Processes 20, 2989-3006.