



GRANDES INCÊNDIOS FLORESTAIS, EROSÃO, DEGRADAÇÃO E MEDIDAS DE RECUPERAÇÃO DOS SOLOS

GRANDES INCÊNDIOS FLORESTAIS, EROSÃO, DEGRADAÇÃO E MEDIDAS DE RECUPERAÇÃO DOS SOLOS

António Bento Gonçalves e António Vieira (Eds.)



Universidade do Minho
Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento



NIGP – Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento
Universidade do Minho

2013

António Bento Gonçalves e António Vieira (Eds.)

**GRANDES INCÊNDIOS FLORESTAIS, EROSÃO, DEGRADAÇÃO E MEDIDAS
DE RECUPERAÇÃO DOS SOLOS**

NIGP – Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento
Universidade do Minho
2013

Título:

Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos

Editores:

António Bento Gonçalves e António Vieira

Autores:

Adélia Nunes, Anabela Queirós, António Bento-Gonçalves, Antonio J.D. Ferreira, Antonio Jordán, António Pedrosa, Antonio Velasco, António Vieira, A. Arellano, A. Barreiro, A. Lombao, A. Martín, A. Merino, Artemi B. Cerdà, Bruno Martins, C. O. A. Coelho, C. Fernández, Diana C.S. Vieira, Elina Baptista, E. Benito, Fantina Tedim, Felícia Fonseca, Fernando Félix, Fernando M. Granja Martins, Flora Ferreira-Leite, Helena Fernandez, Hugo Torrinha, Jesús San-Miguel Ayanz, Joana Gonçalves, João Martins, J. A. Vega, José Miguel Cardoso Pereira, J. J. Keizer, Lee MacDonald, Lorena M. Zavala, Luciano Lourenço, Maria Gouveia, Messias Mira, Micaela Leite, M. Díaz-Raviña, M. C. Malvar, M. A. S. Martins, M. T. Fontúrbel, Nuno Simões, Paulo Dias, Reyes de Celis, Ruben Remelgado, Salete Carvalho, Sandra Oliveira, Sofia Bernardino, Sofia Fernandes, S. González-Prieto, S. A. Prats, Tomás de Figueiredo, T. Carballas, Xavier Úbeda.

ISBN:

978-989-97214-2-5

Ano de Edição:

2013

Edição:

NIGP – Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento da Universidade do Minho
RISCOS – Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança
CEGOT – Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território

Reservados todos os direitos.

Os textos apresentados são da exclusiva responsabilidade dos respectivos autores.

ÍNDICE

PREFÁCIO	5
PARTE I - GRANDES INCÊNDIOS FLORESTAIS	7
<i>Xavier Úbeda; Antonio Velasco</i> Incendios forestales. Herramientas de gestión y prevención	9
<i>Flora Ferreira-Leite; António Bento-Gonçalves; Luciano Lourenço; Xavier Úbeda; António Vieira</i> Mega-incêndios em Portugal Continental (?) – o caso do incêndio de Picões (Bragança)	19
<i>Paulo Dias</i> Grandes incêndios florestais – caso particular dos grandes incêndios de Rio Caldo/Bouça da Mó	37
<i>Sofia Bernardino; Luciano Lourenço; Joana Gonçalves</i> Incêndios Florestais e Risco de Ignição nos Distritos de Coimbra e Castelo Branco, entre 1981 e 2010	45
<i>Fernando Félix; Luciano Lourenço</i> A importância da sinuosidade rodoviária na eficácia do ataque inicial aos incêndios florestais em áreas montanha. O caso particular da Serra da Lousã	63
<i>Fantina Tedim; Ruben Remelgado; João Martins; Salete Carvalho</i> Os grandes incêndios florestais em Portugal desafios para a gestão do risco	75
<i>Hugo Torrinha; António Bento-Gonçalves</i> Avaliação e gestão do risco de incêndio florestal, no concelho de Guimarães	87
<i>Sandra Oliveira; Luciano Lourenço; José Miguel Cardoso Pereira; Jesús San-Miguel Ayanz</i> A ocorrência de incêndios florestais nos países do Sul da Europa. Distribuição espacial, factores estruturais e influência dos grandes incêndios	99
<i>Maria Gouveia; Luciano Lourenço</i> Simulação de um incêndio florestal, a que se seguiu precipitação intensa, com consequente inundação	111
<i>Sandra Oliveira; Luciano Lourenço; António Vieira; Adélia Nunes; António Bento-Gonçalves</i> A utilização de dados de satélite no apoio à prevenção e à recuperação pós-incêndios. O exemplo do PREFER na Europa Mediterrânea	121
<i>Messias Mira; Luciano Lourenço</i> Os incêndios florestais em Portugal têm solução	131
PARTE II - EROSÃO, DEGRADAÇÃO E MEDIDAS DE RECUPERAÇÃO DOS SOLOS	143
<i>Reyes de Celis; Antonio Jordán; Lorena M. Zavala</i> Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo	145
<i>Adélia Nunes; Luciano Lourenço</i> Processos hidrogeomorfológicos intensos na sequência de incêndios florestais em Portugal: análise de estudos de caso	161

- J.A. Vega; T. Fontúrbel; C. Fernández; A. Arellano; M. Díaz-Raviña; T. Carballas; A. Martín; S. González-Prieto; A. Merino; E. Benito*
 Actividades de emergencia para el control de la erosión post-incendio en Galicia (NO Península Ibérica) 181
- António Bento-Gonçalves; António Vieira; Flora Ferreira Leite*
 Erosão dos solos após incêndios florestais: avaliação de medidas de mitigação aplicadas em vertentes e em canais, no NW de Portugal 187
- Bruno Martins; António Pedrosa*
 Os incêndios florestais na alteração do uso e ocupação do solo e a sua relação com a análise da susceptibilidade de ravinamentos: exemplos no norte de Portugal 207
- Elina Baptista; Nuno Simões; Fernando M. Granja Martins; Helena Fernandez; Antonio Jordán; Lorena M. Zavalla*
 Evolução do coberto vegetal em cenário pós incêndio caso de estudo – Tavira – São Brás de Alportel 2012 (portugal) 219
- Micaela Leite, Felícia Fonseca, Tomás Figueiredo*
 Propriedades físicas e químicas do solo em áreas de montanha sob coberto de matos: efeito do fogo 227
- Sofia Fernandes; Sofia Bernardino; Luciano Lourenço*
 Erosão dos solos e medidas de recuperação anteriores aos grandes incêndios florestais, na área confinante das bacias hidrográficas dos rios Lis, Arunca e Pranto 237
- S. A. Prats; M. A. S. Martins; M. C. Malvar; Diana C.S. Vieira; C. O. A. Coelho; Artemi B. Cerdà; Lee MacDonald; Antonio J.D. Ferreira; J. J. Keizer*
 Aplicação de “mulch” após fogo: um método efectivo para a redução da escorrência e da erosão 255
- Tomás de Figueiredo; Felícia Fonseca; Anabela Queirós*
 Efeitos do fogo na erosão do solo em áreas de matos: resultados de um ano de ensaio no parque natural de montesinho 267
- A. Barreiro; A. Lombao; A. Martín; T. Carballas; M. T. Fontúrbel; J. A. Vega; C. Fernández; M. Díaz-Raviña*
 Implementation of techniques to control post-fire erosion in Galicia (NW Iberian Peninsula): effects on soil quality 279
- A. Lombao; A. Barreiro; A. Martín; T. Carballas; M. T. Fontúrbel; J. A. Veja; C. Fernández; M. Díaz-Raviña*
 Implementation of techniques to control post-fire erosion in Galicia (NW Iberian Peninsula): effects on microbial community 285
- Elina Baptista; Nuno Simões; Fernando M. Granja Martins; Helena Fernandez; Antonio Jordán; Lorena M. Zavalla*
 Chove e não trás guarda-chuva, erosão hídrica pós incêndio – caso de estudo incêndio Tavira - São Brás de Alportel - Julho de 2012 291

PREFÁCIO

Dando continuidade às seis edições anteriores, o NIGP (Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento da Universidade do Minho) em colaboração com a RISCOS (Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança) e com o CEGOT (Centro de Estudos em Geografia e Planeamento) e contando com o apoio da GeoPlanUM (Associação de Estudantes de Geografia e Planeamento da Universidade do Minho), organizou a sétima edição dos Encontros de Geografia Física e Ambiente subordinado ao tema "Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos".

O evento decorreu nos dias 10 e 11 de Outubro, em Guimarães, na sede da ACIG (Associação Comercial e Industrial de Guimarães), tendo o primeiro dia sido dedicado à temática dos "Grandes Incêndios Florestais" e o segundo à "Erosão e Medidas de Recuperação de Solos após Incêndios".

O presente livro, com capítulos em português, espanhol e inglês, é o resultado do contributo dos mais de 20 cientistas de Espanha (Universidades de Barcelona, Vigo, Santiago de Compostela e Sevilha) e dos cerca de 30 cientistas e técnicos de Portugal, em representação de muitas Universidades e Institutos Politécnicos nacionais, bem como de diversas instituições publicas nacionais, que apresentaram Conferências, Comunicações Orais e Posters no VII EGFA.

No total, o livro apresenta 24 capítulos, divididos em duas partes, sendo que a primeira parte, (Grandes Incêndios Florestais) é composta por 11 e a segunda (Erosão, Degradação e Medidas de Recuperação dos Solos) por 13 capítulos, que no seu conjunto cobrem aspetos tão variados como a prevenção, as ferramentas de gestão, os fatores de risco, as causas e as consequências, metodologias de mitigação, técnicas e tecnologias, perspetivas históricas, casos de estudo recentes, entre outros.

Trata-se de um livro que, sem ser exaustivo, apresenta o estado do conhecimento atual no âmbito dos grandes incêndios florestais e da erosão, degradação e medidas de recuperação de solos após incêndios, em Portugal e Espanha, pelo que se constitui como um importante contributo, em termos científicos e técnicos, para a defesa da floresta contra incêndios e para a proteção e recuperação dos solos percorridos por incêndios.

António Bento-Gonçalves e António Vieira

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO EM ÁREAS DE MONTANHA SOB COBERTO DE MATOS: EFEITO DO FOGO

Micaela Leite

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança/ESAB

Felícia Fonseca

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança/ESAB
ffonseca@ipb.pt

Tomás Figueiredo

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança/ESAB

RESUMO

Os fogos de origem antropogénica em áreas de matos com a finalidade de obter melhores pastagens para os animais, é uma prática relativamente comum no Norte de Portugal. Durante o fogo, o coberto vegetal e os horizontes orgânicos do solo são total ou parcialmente consumidos e os horizontes minerais são aquecidos, o que pode conduzir a modificações das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A fim de avaliar o efeito deste tipo de incêndios em propriedades físicas e químicas do solo, duas regiões distintas foram selecionadas para amostragem: Edroso, Concelho de Vinhais, Trás-os-Montes e Alto Douro; Revelhe, Concelho de Fafe, Entre Douro e Minho. A amostragem realizou-se em áreas contíguas queimadas e não queimadas, com vegetação arbustiva semelhante, predominando *Cytisus multiflorus* e *Ulex europeus*. Em cada área de amostragem (Edroso e Revelhe) foram selecionados 16 locais onde se colheram amostras (8 na zona queimada e 8 na zona não queimada), 6 meses após a ocorrência do fogo. As amostras de vegetação arbustiva e herbácea bem como de horizonte orgânico foram colhidas numa área de 0,49 m² por local e as amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm. Os resultados mostram que o teor de elementos grosseiros, a porosidade e a permeabilidade diminuem após fogo e a densidade aparente sofre um ligeiro aumento nas zonas queimadas. No que respeita às propriedades químicas, o teor de matéria orgânica, o alumínio de troca e a capacidade de troca catiónica efetiva registaram aumentos após fogo, verificando-se o contrário com o fósforo, as bases de troca e a condutividade elétrica. O potássio, o azoto total e a acidez de troca têm comportamento diferente nas duas áreas de amostragem. As propriedades físicas e químicas do solo sofreram alterações após fogo, por comparação das zonas queimadas e não queimadas, sendo o tipo de vegetação que cobre os solos, relevante neste contexto.

Palavras-chave: Vegetação arbustiva, fogo, propriedades do solo, Norte de Portugal

PHYSICAL AND CHEMICAL SOIL PROPERTIES IN SHRUB COMMUNITIES: EFFECTS OF FIRE

ABSTRACT

Anthropogenic fire in shrublands for obtain better pastures for cattle, is relatively common practice in North Portugal. During burning, plant cover and litter layers are consumed, and the mineral soil is heated, resulting in changes to physical, chemical,

mineralogical, and biological soil properties. In order to evaluate the effect of this kind of fires on some physical and chemical soil properties, two distinct regions were selected for sampling: Edroso, Municipality of Vinhais, Trás-os-Montes and Alto Douro; Revelhe, Municipality of Fafe, Entre Douro e Minho. Sampling was carried out in contiguous areas burned and unburned, with shrub vegetation, predominantly *Cytisus multiflorus* and *Ulex europeus*. In each sampling area (Edroso and Revelhe) were selected 16 locations where collected samples (8 in the burned area and 8 in unburned area), six months after the fire occurrence. Disturbed soil samples were collected at depths 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 and 20-30cm, for assess organic matter, nutrients concentration, soil pH and soil texture. Bulk density and permeability were determined in undisturbed samples, collected in 100 cm³ cylinders (bulk density in the same depths above referred and permeability only in layer 0-5 cm). When compared burned with unburned areas the results show that: (content of coarse elements, porosity and permeability decrease and bulk density increases slightly. Regarding chemical properties, organic matter content, aluminum exchange and cation exchange capacity recorded increases, checking the opposite with phosphorus, exchange basis and electrical conductivity. The potassium, total nitrogen and acid cation exchange have different behavior in the two sampling areas. The physical and chemical soil properties have been altered after fire, by comparison of burned and unburned areas, and the type of vegetation which covers the soil is relevant in this context.

Keywords: Fire, Shrubs areas, Soil properties

INTRODUÇÃO

O fogo constitui o fator responsável pela destruição do coberto vegetal e como tal agente potencial direto de degradação da terra e desertificação na Região Mediterrânea (Coelho, 2001). Ao longo do tempo, mas sobretudo nos últimos anos, a problemática dos fogos tem estado no centro das atenções, não somente pelo elevado número de ocorrências, mas também pela sua intensidade e severidade (Fernandes, 2009). Os incêndios em áreas de matos e florestas são comuns durante os verões quentes e secos da Península Ibérica (Cerdà *et al.*, 2005), existindo desde épocas anteriores à ocupação humana, constituindo parte integrante dos ecossistemas mediterrâneos.

A severidade do fogo é determinante na alteração de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, pois modifica a temperatura dos horizontes minerais do mesmo (Fernandes, 2009). O grau de aquecimento do solo durante o fogo é variável e depende do tipo de combustível (vegetação herbácea, arbustos e árvores), da intensidade do fogo, da natureza da camada orgânica (espessura e conteúdo de humidade), e das propriedades do solo (matéria orgânica, teor de humidade, textura) (Batista *et al.*, 2000). A época de incêndios é normalmente seguida das chuvas torrenciais do Outono, o que intensifica os processos de erosão e aumenta o risco de desertificação (Campo *et al.*, 2006). Os fogos em áreas de matos destroem a vegetação, deixando as rochas e o solo expostos diretamente à ação dos agentes erosivos, intensificando os processos de meteorização das rochas e movimentação dos solos (Lourenço, 1994). Por vezes, as áreas ardidas ainda em recuperação são afetadas por novos incêndios, favorecendo claramente uma progressiva degradação dos ecossistemas, com modificações das condições estruturais e hidrológicas do solo (Campo *et al.*, 2006).

Após fogo, normalmente a concentração de nutrientes em formas mais disponíveis para as plantas e microrganismos aumenta, devido à destruição das formas orgânicas e a sua transformação em formas mais biodisponíveis. Pode também ocorrer a incorporação de nutrientes no solo, provenientes da morte de plantas e da biomassa microbiana. No entanto, por vezes a quantidade de nutrientes diminui, em consequência de perdas por mineralização, imobilização, lixiviação ou arrastamento superficial (Fernandes, 2009). Também, após fogo, a resistência do solo, a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração tendem a diminuir nas primeiras camadas de solo. No entanto, a superfície dos solos respondem de diferentes formas à passagem do fogo

(Are *et al.*, 2009). As propriedades hidrofóbicas da superfície do solo estão relacionadas com a severidade do fogo (Chafer, 2008).

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar propriedades do solo e avaliar o impacto do fogo sobre propriedades e processos relevantes para a proteção dos recursos solo e água, em áreas de matos. Para tal, foram estudadas propriedades físicas e químicas do solo e da vegetação, sendo dada especial relevância às primeiras.

1. MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de estudo localizam-se em duas regiões distintas (Figura 1). A primeira, Edroso, situa-se no Parque Natural de Montesinho (PNM), Concelho de Vinhais (41° 54' N, 7° 09' W), acima dos 900 m de altitude, com predominância de Leptosolos dístricos derivados de xisto. A segunda, Revelhe, localiza-se na região Entre Douro e Minho, Concelho de Fafe (41° N, 8° 9' W), a 700 m de altitude. Predominam os Regossolos dístricos derivados de granito. A temperatura média anual é de 12,3°C (Edroso) e de 14,4°C (Revelhe). A precipitação média anual é de 758,3 e de 1465,7 mm, respetivamente para Edroso e Revelhe, com uma distribuição sazonal tipicamente mediterrânea (INMG, 1991; INMG, 2011)

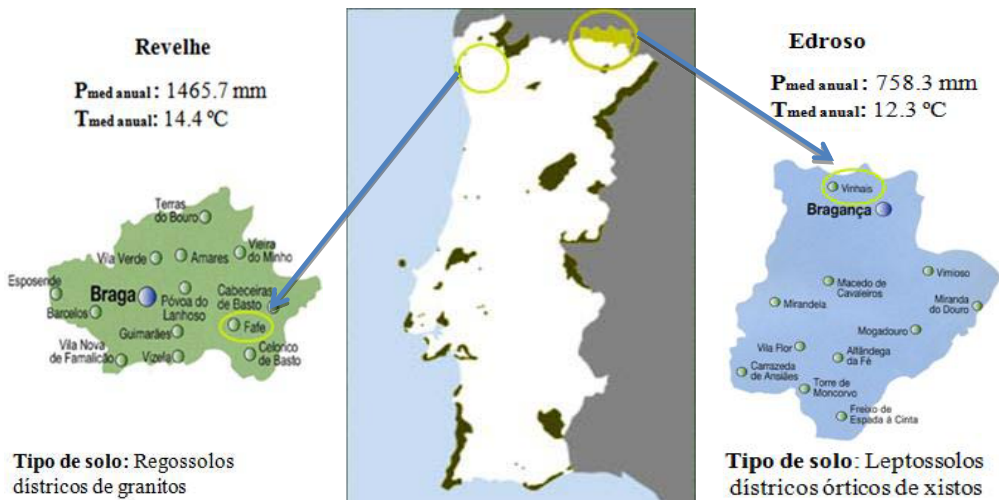


Figura 1. Localização das áreas de amostragem, Revelhe e Edroso

Nas duas áreas de amostragem estudaram-se propriedades físicas e químicas do solo e a vegetação. A amostragem realizou-se em zonas vizinhas queimadas e não queimadas, com vegetação arbustiva idêntica, principalmente constituída por *Cytisus multiflorus* e *Ulex Europeus*. Em cada área de amostragem (Edroso e Revelhe) foram selecionados 16 locais (8 na zona queimada e 8 na zona não queimada), onde se colheram amostras 6 meses após a ocorrência do fogo. As amostras de vegetação arbustiva e herbácea bem como de horizonte orgânico foram colhidas numa área de 0,49 m² por local e as amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm (Figura 2). Também nestas profundidades foram colhidas amostras não perturbadas para avaliação da densidade aparente e da permeabilidade do solo. Para o último parâmetro referido apenas foram colhidas amostras na camada 0-5 cm. As amostras foram transportadas para o laboratório onde foram processadas e analisadas. O tratamento estatístico dos dados baseou-se em análises de variância e testes de comparação múltipla de médias (Tukey, 5%) para as variáveis em análise.



Figura 2. Recolha de amostras de vegetação arbustiva e de solo

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1 pode-se observar algumas características da vegetação arbustiva (tojo e giesta), vegetação herbácea (VH) e horizonte orgânico (HO), para as duas áreas de amostragem (Edroso e Revelhe). A composição da vegetação, bem como do horizonte orgânico influencia a quantidade de nutrientes que poderão ser devolvidos ao solo sob a forma de cinzas, no caso de ocorrência de incêndios. As concentrações em elementos químicos na vegetação arbustiva, de um modo geral, é bastante similar em ambas as áreas de amostragem com exceção do potássio (K) e magnésio (Mg), que tendem a duplicar os valores em Revelhe. Também o azoto (N) apresenta valores significativamente mais elevados em Revelhe que se refletem na relação C/N e consequentemente na velocidade de decomposição dos resíduos orgânicos. No que respeita aos valores no horizonte orgânico (HO), na grande maioria das vezes, são significativamente superiores em Revelhe.

Quadro 1. Composição da vegetação arbustiva (tojo e giesta), herbácea (VH) e horizonte orgânico (HO) nas duas áreas de amostragem, Edroso e Revelhe. Para cada variável e tipo de vegetação, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Parâmetros (%)	Edroso				Revelhe		
	Tojo	Giesta	VH	HO	Tojo	Giesta	HO
Ca	0,14 ^a	0,14 ^a	0,21	0,23 ^a	0,12 ^a	0,12 ^a	0,36 ^b
Mg	0,06 ^a	0,09 ^a	0,12	0,09 ^a	0,13 ^b	0,13 ^b	0,25 ^b
K	0,36 ^a	0,39 ^a	0,91	0,43 ^b	0,62 ^b	0,72 ^b	0,22 ^a
P	0,01 ^a	0,02 ^a	0,03	0,02 ^a	0,02 ^a	0,02 ^a	0,01 ^a
N	1,16 ^a	1,96 ^a	1,85	1,54 ^b	1,52 ^b	1,87 ^a	0,97 ^a
C	98,2 ^a	97,8 ^a	86,8	83,7 ^b	96,8 ^a	96,9 ^a	57,7 ^a
C/N	85,2 ^a	50,4 ^a	47,1	54,6 ^a	65,8 ^b	52,4 ^a	59,3 ^a

A matéria orgânica do solo (Figura 3), de um modo geral, aumenta após fogo em Revelhe e também nos primeiros 15 cm em Edroso. Nas observações de campo foi visível a presença de grandes quantidades de vegetação carbonizada depositada na superfície do solo. Após a ocorrência de fogos de intensidade baixa / moderada, frequentemente observa-se um aumento do teor de matéria orgânica no solo, devido a uma considerável inclusão de resíduos vegetais carbonizados (González-Pérez *et al.*, 2004) e à presença de cinzas residuais (Pardini *et al.*, 2004). O azoto total mostra um comportamento bastante heterogêneo entre áreas de amostragem (Figura 3). Embora, o fogo habitualmente contribua para perdas de azoto por volatilização (Wienhold and Klemmedson, 1992), os aumentos observados para este elemento podem estar associados à entrada frequente de espécies fixadoras de azoto nas áreas queimadas (Johnson and Curtis, 2001), bem como aos aumentos registados para os teores de matéria orgânica.

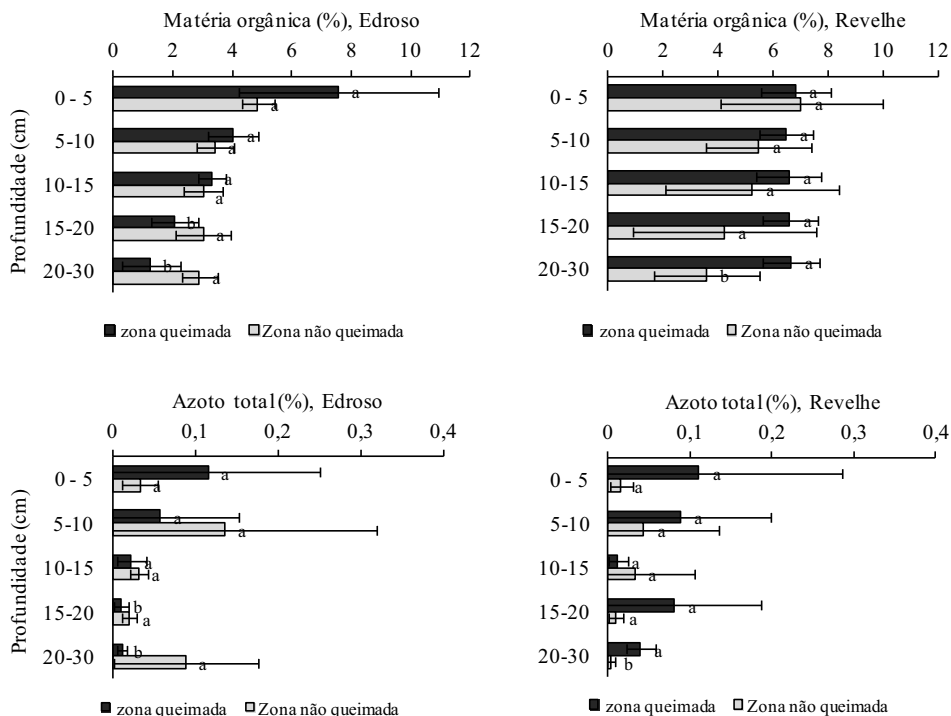


Figura 3. Matéria orgânica e azoto total no solo antes e após fogo. Para cada variável, profundidade e área de amostragem, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$)

O fósforo extraível decresce após fogo, com exceção da primeira camada (0-5 cm) em Revelhe, enquanto o potássio tende a apresentar valores idênticos antes e após fogo (Figura 4). Apesar do fogo contribuir para a redução da solubilidade do fósforo (Rashid, 1987), este e outros nutrientes ficam geralmente depositados nas cinzas na superfície do solo, sendo suscetíveis de sofrer perdas por erosão e lixiviação (Wienhold and Klemmedson, 1992). As baixas perdas de potássio após fogo podem ser justificadas pelas temperaturas atingidas pelo solo (baixa / moderada intensidade do fogo). O potássio, normalmente volatiliza perto dos 760°C, temperaturas estas bastante difíceis de serem atingidas (Alauzis *et al.*, 2004).

As bases de troca (Ca, Mg, K, Na) tendem a diminuir em ambas as áreas de amostragem após fogo, registrando comportamento inverso o alumínio de troca (Quadro 2). As bases de troca volatilizam a temperaturas muito elevadas (740 – 12400°C) e, conseqüentemente permanecem no local sob a forma de cinza, ou então são arrastadas para fora do sistema por ação do vento, lixiviação e erosão hídrica (Alauzis *et al.*, 2004). As variações destes elementos refletem-se nos valores de pH do solo, mostrando um aumento da acidez após fogo (Figura 5). Vários autores reportam resultados similares (Rashid, 1987; Franco-Vizcaino and Sosa-Ramirez, 1997).

Como referido anteriormente, o teor de matéria orgânica tende a aumentar após fogo, seguindo tendência idêntica os teores de argila (Quadro 5), conduzindo a ligeiros aumentos da capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) e da acidez de troca (AT) (Quadro 3).

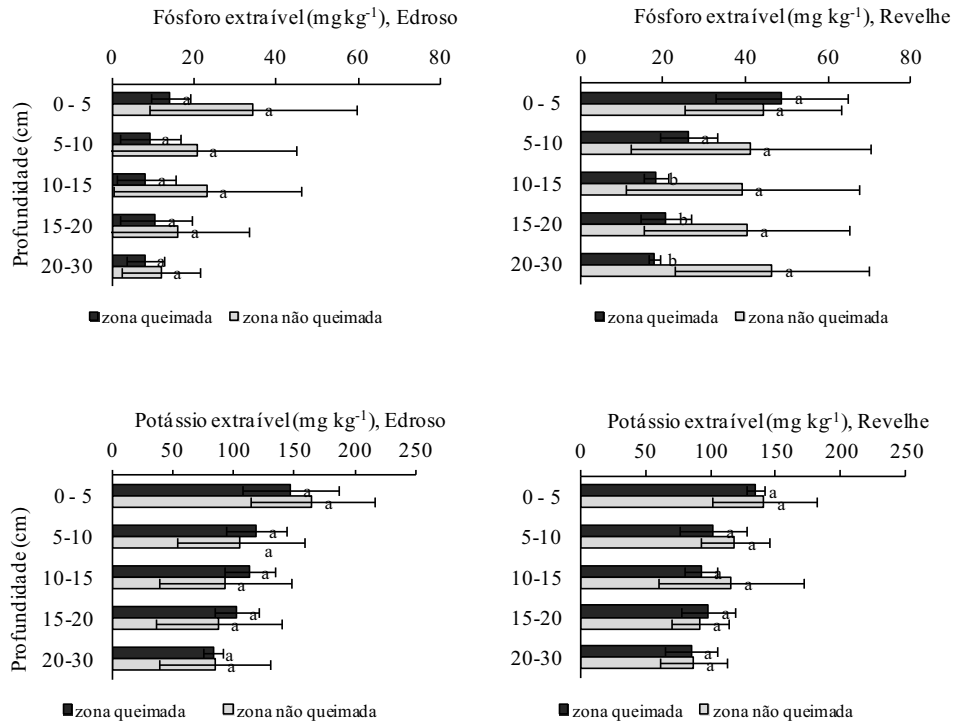


Figura 4. Fósforo e potássio extraíveis antes e após fogo. Para cada variável, profundidade e área de amostragem médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Quadro 2. Bases (Ca, Mg, K, Na) e alumínio (Al) de troca do solo antes e após fogo. Para cada variável, profundidade e área de amostragem, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Prof (cm)	Edroso					Revelhe				
	Ca	Mg	K	Na	Al	Ca	Mg	K	Na	Al
(cmol(+) kg ⁻¹)										
Zona queimada										
0-5	1,81 ^a	0,92 ^a	0,55 ^a	0,64 ^a	2,30 ^a	1,41 ^a	0,51 ^a	0,27 ^a	0,23 ^a	2,24 ^a
5-10	1,30 ^a	0,74 ^a	0,45 ^a	0,61 ^a	2,10 ^a	1,31 ^a	0,52 ^a	0,31 ^a	0,28 ^a	2,50 ^b
10-15	1,20 ^a	0,74 ^a	0,43 ^a	0,59 ^a	1,90 ^a	1,25 ^a	0,50 ^a	0,31 ^a	0,30 ^a	2,93 ^b
15-20	1,29 ^a	0,74 ^a	0,39 ^a	0,61 ^a	1,80 ^a	1,28 ^a	0,74 ^a	0,29 ^a	0,28 ^a	2,78 ^b
20-30	1,20 ^a	0,75 ^a	0,30 ^a	0,63 ^b	1,79 ^a	1,30 ^a	0,46 ^a	0,28 ^a	0,29 ^b	2,71 ^b
Zona não queimada										
0-5	2,21 ^a	1,05 ^a	0,56 ^b	0,75 ^a	1,75 ^a	2,18 ^a	0,72 ^a	0,56 ^b	0,41 ^a	2,16 ^a
5-10	1,34 ^a	0,79 ^a	0,30 ^b	0,69 ^a	1,81 ^a	2,10 ^a	0,65 ^a	0,48 ^b	0,44 ^a	1,76 ^a
10-15	1,29 ^a	0,76 ^a	0,23 ^b	0,69 ^a	1,80 ^a	1,73 ^a	0,58 ^a	0,45 ^b	0,38 ^a	1,91 ^a
15-20	1,16 ^a	0,68 ^a	0,19 ^b	0,69 ^a	1,66 ^a	1,88 ^a	0,68 ^a	0,41 ^b	0,39 ^a	1,66 ^a
20-30	1,24 ^a	0,76 ^a	0,17 ^a	0,71 ^a	1,70 ^a	2,04 ^a	0,62 ^a	0,17 ^b	0,38 ^a	1,44 ^a

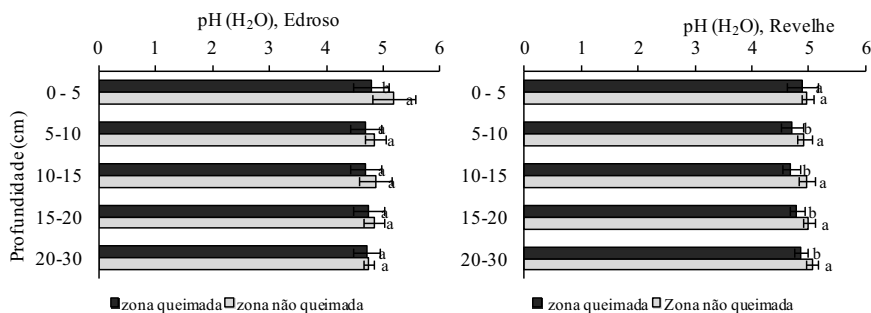


Figura 5. Valores de pH do solo antes e após fogo. Para a mesma profundidade e área de amostragem, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Quadro 3. Capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) e acidez de troca (AT) do solo antes e após fogo. Para cada variável, profundidade e área de amostragem, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Profundidade (cm)	Edroso		Revelhe	
	CTCe	AT	CTCe	AT
	(cmol(+) kg ⁻¹)			
	Zona queimada			
0-5	8,92 ^a	2,70 ^a	7,60 ^b	2,95 ^a
5-10	7,90 ^a	2,70 ^a	7,80 ^a	2,88 ^b
10-15	7,19 ^a	2,38 ^a	8,82 ^b	3,54 ^b
15-20	7,21 ^a	2,29 ^a	8,63 ^b	3,49 ^b
20-30	7,36 ^a	2,45 ^a	8,02 ^b	2,98 ^b
	Zona não queimada			
0-5	8,62 ^a	2,38 ^a	7,45 ^a	2,41 ^a
5-10	7,66 ^a	2,78 ^a	7,44 ^a	2,00 ^a
10-15	7,13 ^a	2,57 ^a	7,36 ^a	2,31 ^a
15-20	7,13 ^a	2,65 ^a	6,77 ^a	1,85 ^a
20-30	6,90 ^a	2,43 ^a	6,58 ^a	1,70 ^a

A condutividade elétrica é significativamente afetada pelo fogo em Edroso, apresentando frequentemente valores mais baixos na zona queimada em ambas as áreas de amostragem. Alauzis *et al.* (2004) verificaram um incremento da condutividade elétrica do solo após a passagem do fogo, mas Lambao *et al.* (s/d) referem que este incremento é temporário, conduzindo num período curto de tempo a que as áreas queimadas apresentem menor condutividade elétrica que as áreas não queimadas.

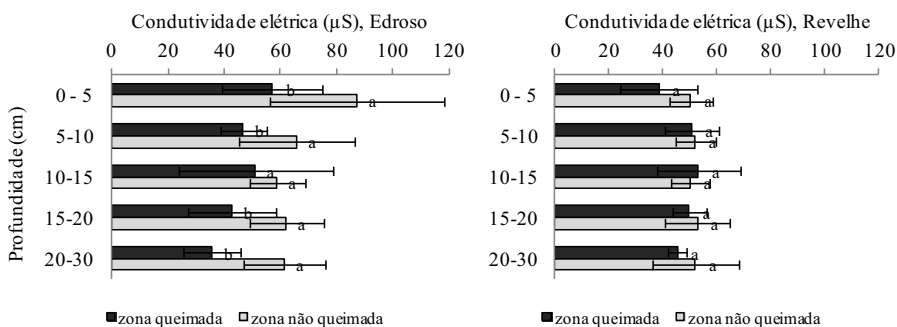


Figura 6. Condutividade elétrica do solo antes e após fogo. Para a mesma profundidade e área de amostragem, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Após fogo observa-se um aumento da densidade aparente (Dap), relacionado com o decréscimo da porosidade (Pt) e da permeabilidade (Quadro 4). Resultados similares foram obtidos por Hubbert *et al.* (2006). A redução destes parâmetros (porosidade e permeabilidade) deve-se à deposição de cinzas na superfície do solo, com a consequente obstrução dos poros. Frequentemente, a condutividades hidráulica diminui significativamente nas primeiras camadas de solo, apesar da superfície do solo responder de diversas formas à passagem do fogo (Are *et al.*, 2009). Como os processos de meteorização de rochas e minerais tendem a ser acelerados pelo efeito do aumento da temperatura e da exposição direta à ação dos agentes erosivos, o teor de elementos grosseiros tende a ser mais baixo no solo em áreas queimadas (Quadro 4) (Chafer, 2008).

Quadro 4. Elementos grosseiros (El gros), densidade aparente (Dap), porosidade total (Pt) e permeabilidade do solo antes e após fogo. Para cada variável, profundidade e área de amostragem, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Prof (cm)	Edroso				Revelhe			
	El gros (%)	Dap (g cm^{-3})	Pt (%)	Permeabilidade (cm h^{-1})	El gros (%)	Dap (g cm^{-3})	Pt (%)	Permeabilidade (cm h^{-1})
Zona queimada								
0-5	37,5 ^a	1,30 ^a	51,1 ^a	47,12 ^a	25,3 ^a	1,29 ^a	64,2 ^a	12,2 ^a
5-10	33,6 ^a	1,30 ^a	50,8 ^a		28,2 ^a	1,30 ^a	63,8 ^a	
10-15	36,2 ^a	1,41 ^a	46,8 ^a		24,4 ^a	1,41 ^a	64,2 ^a	
15-20	36,9 ^b	1,35 ^a	49,0 ^a		23,7 ^a	1,35 ^a	61,4 ^a	
20-30	30,1 ^b	1,42 ^a	46,6 ^a		24,0 ^a	1,42 ^a	55,0 ^a	
Zona não queimada								
0-5	38,1 ^a	1,17 ^a	55,8 ^a	51,68 ^a	28,0 ^a	1,17 ^a	66,3 ^a	172,3 ^b
5-10	39,1 ^a	1,21 ^a	54,3 ^a		31,9 ^a	1,21 ^a	65,8 ^a	
10-15	44,1 ^a	1,29 ^a	51,2 ^a		32,4 ^a	1,28 ^a	63,8 ^a	
15-20	48,0 ^a	1,27 ^a	52,2 ^a		36,6 ^b	1,26 ^a	66,2 ^a	
20-30	42,7 ^a	1,35 ^a	49,1 ^a		43,2 ^b	1,35 ^a	62,3 ^a	

Quadro 5. Distribuição das partículas minerais do solo por classe de tamanho antes e após fogo. Para cada variável, profundidade e área de amostragem, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Profundidade (cm)	Edroso			Revelhe		
	Areia	Limo (%)	Argila	Areia	Limo (%)	Argila
Zona queimada						
0-5	44,0 ^a	34,8 ^b	21,2 ^a	68,4 ^a	15,8 ^a	15,7 ^a
5-20	44,7 ^a	34,5 ^a	20,8 ^b	66,8 ^b	16,3 ^a	16,9 ^b
20-30	40,6 ^a	39,2 ^b	20,2 ^a	64,2 ^b	16,3 ^a	20,7 ^a
Zona não queimada						
0-5	48,8 ^b	30,5 ^a	20,7 ^a	71,5 ^a	12,4 ^a	16,0 ^a
5-20	45,4 ^a	31,9 ^a	22,7 ^a	75,4 ^a	13,0 ^a	11,6 ^a
20-30	47,5 ^b	30,7 ^a	21,9 ^a	74,9 ^a	12,0 ^b	13,0 ^a

As condições climáticas registadas após fogo nas duas áreas de amostragem (com elevadas quantidades de precipitação, conduzindo eventualmente a taxas elevadas de lixiviação e erosão do solo) e a baixa severidade do fogo (indicada pela presença de materiais incompletamente queimados), podem explicar parcialmente as modificações observadas nas propriedades do solo após a passagem do fogo.

3. CONCLUSÕES

Este estudo teve como principal objetivo contribuir para um melhor conhecimento do impacto do fogo em solos cobertos por matos, uma vez que a disponibilidade de informação para este tipo de sistemas ainda é muito escassa. Os resultados foram analisados por comparação de zonas queimadas e zonas não queimadas. A vegetação e o horizonte orgânico do solo presente

nas duas áreas de amostragem, Edroso e Revelhe, têm um efeito importante no controlo da erosão e nas relações solo-planta. Por seu lado, a avaliação dos parâmetros físicos e químicos do solo permite estimar o efeito do fogo no solo.

Relativamente às propriedades físicas do solo verificou-se que a percentagem de elementos grosseiros, porosidade e permeabilidade diminuíram após fogo, enquanto a densidade aparente sofreu um ligeiro aumento. No que respeita às propriedades químicas do solo, o teor de matéria orgânica, alumínio de troca e capacidade de troca catiónica efetiva sofreram um aumento após fogo. Em contrapartida, o fósforo, as bases de troca e a condutividade elétrica diminuíram. Por sua vez, o potássio, o azoto total e a acidez de troca assumem comportamento diferente nas duas áreas de amostragem.

As propriedades físicas e químicas do solo sofreram alterações após fogo, sendo o tipo de vegetação que cobre os solos, relevante neste contexto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAUZIS, M.V., MAZZARINO, M.J., RAFFAELE, E., ROSELLI, L., 2004. Wildfires in NW Patagonia: long-term effects on a Nothofagus forest soil. *Forest Ecology and Management* 192, 131-142.
- ARE, K.S., OLUWATOSIN, G.A., ADEYOLANU, O.D., OKE, A.O., 2009. Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: Soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 103: 4-10.
- BATISTA, A.C., REISSMANN, C.B., SOARES, R.V., 2000. Efeitos da queima controlada sobre algumas propriedades químicas do solo em um povoamento de *Pinus taeda* no município de Sengés-PR. *Floresta* 27 (1/2), 50-70.
- CAMPO, J., ANDREU, V., GIMENO-GARCÍA, E., GONZÁLEZ, O., RUBIO, J.L., 2006. Occurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment. *Geomorphology* 82, 376-387.
- CERDÀ, ARTEMI., LASANTA, TEODORO., 2005. Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees 1. Water and sediment yield: *Catena* 60, 59-80.
- CHAFER, CHRIS J., 2008. A comparison of fire severity measures: An Australian example and implications for predicting major areas of soil erosion. *Catena* 74, 235-245.
- COELHO, C., 2001. Efeitos dos Incêndios Florestais sobre a erosão e a degradação do solo. In Ministério da Administração Interna SEAMAI (ed.). *A floresta que futuro?* 135-146. Instituto Nacional de Administração (INA).
- FERNANDES, R.C., CORDOVID, C.M., DE VARNENNES, A., 2009. Use of Organic Residues to recover Nutrients and Organic Matter Pools in burned soils. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal.
- FRANCO-VIZCAÍNO, E., SOSA-RAMIREZ, J., 1997. Soil properties and nutrient relations in burned and unburned Mediterranean-climate shrublands of Baja California, Mexico. *Acta Ecologica* 18 (4), 503-517.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, J.A., GONZÁLEZ-VILA, F.J., ALMENDROS, G., KNICKER, H., 2004. The effect of fire on soil organic matter – a review. *Environment International* 30, 855-870.
- HUBBERT, K.R., PREISLER, H.K., WOHLGEMUTH, P.M., GRAHAM, R.C., NAROG, M.G., 2006. Prescribed burning effects on soil physical properties and soil water repellency in a steep chaparral watershed, southern California, USA. *Geoderma* 130, 284-298.
- INMG, 2011. Normais Climatológicas. Braga. Período 1971/2000.
- INMG, 1991. Normais Climatológicas da Região de “Trás-os-Montes e Alto Douro” e “Beira Interior” Correspondentes a 1951-1980. Fascículo XLIX, Volume 3, Lisboa.
- JOHNSON, D.W., CURTIS, P.S., 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology and Management* 140, 227-238.
- LOMBAO, A., BARREIRO, A., MARTIN, A., DÍAZ-RAVIÑA, M., s/d. Soil microbial community structure as affected by a wildfire in laza (NW Spain). Departamento de Bioquímica del Suelo, Instituto de Investigaciones Agrariológicas de Galicia (IIAG-CSIC). Santiago de Compostela (Spain).
- LOURENÇO, L., 1994. Risco de incêndio florestal em Portugal Continental. *Informação Florestal* 4, 22-32.
- PARDINI, G., GISPERT, M., DUNJÓ, G., 2004. Relative influence of wildfire on soil properties and erosion processes in different Mediterranean environments in NE Spain. *Science of the Total Environment* 328, 237-246.

- RASHID, G.H., 1987. Effects of fire on soil carbon and nitrogen in a Mediterranean oak forest of Algeria. *Plant and Soil*, 103: 89-93.
- WIENHOLD, B.J., KLEMMEDSON, J.O., 1992. Effect of prescribed fire on nitrogen and phosphorus in Arizona chaoarral soil-plant systems. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 6, 285-296.