

**A OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NOS PAÍSES DO SUL DA EUROPA.
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL, FACTORES ESTRUTURAIS E INFLUÊNCIA DOS GRANDES INCÊNDIOS**

Sandra Oliveira
Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais (NICIF), Universidade de Coimbra
sisoliveira@gmail.com

Luciano Lourenço
Departamento de Geografia, Universidade de Coimbra
luciano@uc.pt

José Miguel Cardoso Pereira
Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia
jmcpereira@isa.utl.pt

Jesús San-Miguel Ayanz
European Commission, Joint Research Centre
jesus.san-miguel@jrc.ec.europa.eu

RESUMO

No Sul da Europa, a densidade de incêndios é muito variável, associada a factores climáticos como precipitação, ao tipo de vegetação e a factores humanos. A importância destes factores varia consoante o país ou região. Esta distribuição espacial reflecte também a ocorrência de situações extremas, com número elevado de incêndios e de grande dimensão, no período em estudo.

Palavras-chave: Sul da Europa, factores estruturais, densidade de incêndios, eventos extremos

**The occurrence of forest fires in Southern Europe.
Spatial distribution, structural factors and the influence of large fires**

ABSTRACT

In Southern Europe, fire density is highly variable, associated with climatic variables such as precipitation, with vegetation and with human factors. The importance of these factors varies throughout countries or regions. The spatial distribution of forest fires reflects as well the occurrence of extreme events, with large fires and a high number of fire events, during the study period.

Keywords: Southern Europe, structural factors, fire density, extreme fire events

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são frequentes na Europa, com maior incidência nos países mediterrâneos do Sul, onde arde mais de meio milhão de hectares de áreas florestais por ano (Martínez *et al* 2009; San-Miguel e Camia 2009; San-Miguel-Ayanz *et al.*, 2013). Apesar da relação intrínseca entre os incêndios e as condições ambientais das regiões mediterrâneas (Pausas 2004; Pausas *et al.* 2008; San-Miguel-Ayanz *et al.*, 2012), o regime natural de fogo foi modificado nas últimas décadas, devido ao abandono de terrenos agrícolas e consequente acumulação de combustível, a mudanças nos usos tradicionais da terra e de produtos florestais resultantes de mudanças demográficas e socioeconómicas, e devido à arborização de terras agrícolas (Badia *et al.*, 2011; Bento-Gonçalves *et al.*, 2012; Moreira *et al* 2001, 2011, 2012; San-Miguel-Ayanz *et al.*, 2012). Os incêndios são, actualmente, a principal causa da degradação do solo na Europa Mediterrânea (Amatulli e Camia 2007) e podem ser considerados eventos catastróficos (Pausas *et al.*, 2008) pelos impactes negativos que acarretam; de facto, as épocas de incêndio dramáticas de 2003 e 2005, em Portugal, e de 2007, na Grécia, por exemplo, relembram a relevância deste fenómeno nestes países, profundamente afectados ao nível ambiental, socioeconómico e humano (Biro 2009; Boschetti *et al.*, 2008; San-Miguel e Camia 2009; Trigo *et al.*, 2006). Estes acontecimentos recentes, encorajam uma investigação mais aprofundada de todas as vertentes associadas à ocorrência de incêndios e obrigam a repensar as estratégias de gestão do fogo nesta região (Biro 2009; Conedera *et al.* 2011).

Assim, neste trabalho investiga-se a ocorrência de incêndios e a sua variabilidade no Sul da Europa, numa perspectiva de longo prazo, com o objectivo de contribuir para uma melhor compreensão dos factores estruturais que influenciam a ocorrência de incêndios nesta região. Os factores estruturais reflectem as condições socioeconómicas e ambientais que permanecem estáveis ao longo de vários meses ou anos, e são particularmente relevantes para a avaliação da susceptibilidade a incêndios para a fase de prevenção e para a gestão dos recursos disponíveis.

Mais especificamente, os objectivos deste estudo foram:

- a) Investigar os padrões espaciais da ocorrência de incêndios em diversos países do Sul da Europa;
- b) Identificar os factores estruturais que influenciam a ocorrência de incêndios, associados ao número de incêndios e à variação do seu grau de influência na área em estudo;
- c) Avaliar a susceptibilidade a incêndios nos países mais afectados, através do desenvolvimento de um modelo baseado em variáveis estruturais.

1. DADOS E METODOLOGIA

1.1. Área de estudo

Este estudo foi aplicado aos países do Sul da Europa onde a ocorrência de incêndios é relativamente frequente, uma área de estudo vasta, que se estende desde Portugal, a Oeste, até à Turquia, a Este, de clima de tipo mediterrâneo, embora com diferentes subtipos, e com condições biogeográficas e socioeconómicas distintas (fig. 1). A investigação foi realizada para os países com dados de número de incêndios compatíveis com a escala de longo prazo.

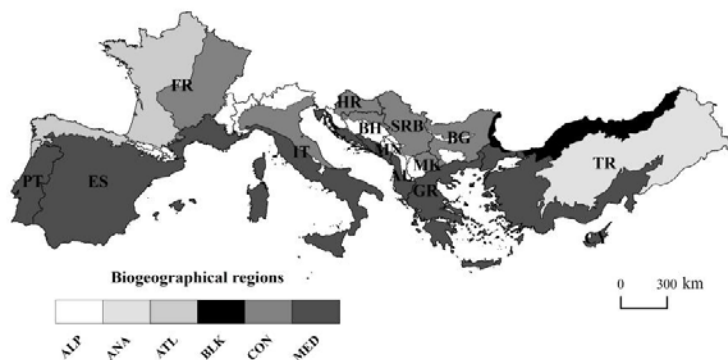


Figura 1. Área de estudo, composta por 14 países (PT, Portugal; ES, Espanha; FR, França; IT, Itália; HR, Croácia; BH, Bósnia e Herzegovina; SRB, Sérvia; MN, Montenegro; AL, Albânia; MK, antiga República Jugoslava da Macedónia FYROM; BG, Bulgária; GR, Grécia; TR, Turquia; CY, Chipre) e as regiões biogeográficas representadas (ALP, Alpina; ANA, Anatólia; ATL, Atlântica; BLK, Mar Negro; CON, Continental; MED, Mediterrânea). *Retirado de Oliveira et al., 2013.*

1.2. Dados

Os dados do número de incêndios foram obtidos da base de dados europeia, (European Fire Database - EFD), pertencente ao European Forest Fire Information System (EFFIS, San-Miguel-Ayanz *et al.* 2012). Esta base de dados resulta da colaboração entre diversos países europeus e foi criada para apoiar os serviços nacionais na gestão do fogo, para além de disponibilizar dados harmonizados e actualizados sobre os incêndios florestais, aos serviços da Comissão Europeia e ao Parlamento (Camia *et al.*, 2010). Actualmente, a base de dados conta com a participação de mais de 20 países, os quais disponibilizam dados sobre a localização dos incêndios, a data e hora de início e de extinção, o tipo de cobertura do solo afectada e a possível causa do incêndio, entre outros parâmetros. A variável dependente de número de incêndios foi analisada em relação à superfície, representando a densidade de incêndios (nº incêndios/km²). Para obter a densidade, e tendo em conta a dificuldade em obter a localização exacta de cada incêndio, foram aplicados métodos de interpolação aos dados obtidos por NUTS III4. Utilizaram-se os dados de número de incêndios de 1996 a 2010, ou a maior série de dados disponível para os países com um período menos alargado de registo. A densidade de fogos corresponde à média do número de incêndios no período em estudo para cada país.

As variáveis independentes, representativas de parâmetros físicos ou humanos, foram obtidas de diversas fontes (Quadro 1), segundo dois critérios principais: a disponibilidade ao nível Europeu e a compatibilidade com a escala temporal de longo prazo, que exige um número mínimo de anos para calcular condições médias no período de tempo considerado, ou a utilização de indicadores que representem variáveis estáticas (Conedera *et al.*, 2011; Jappiot *et al.*, 2009).

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, algumas das variáveis foram alteradas, o que sucedeu sempre que versões mais actualizadas ou dados mais representativos foram disponibilizados, de acordo com os dois critérios de selecção mencionados anteriormente.

4 Nomenclatura de Unidades Territoriais para fins estatísticos. As NUTS III correspondem, na maioria dos países europeus, a províncias ou regiões; em Portugal correspondem a grupos de concelhos.

Quadro 1. Tipo de variáveis independentes recolhidas para este estudo, a resolução/escala, a fonte e referências.

Tipo de variáveis	Nome das variáveis	Resolução/ Escala	Fonte e referências
Topográficas	Altitude	1 km	DEM Europe (Jarvis <i>et al.</i> , 2008; Reuter <i>et al.</i> , 2007)
	Inclinação de vertentes	1 km	
	Rugosidade	100 m	
	Orientação solar	1 km	
Uso do solo	Proporção de áreas florestais	100 m	Corine Land Cover 2000 (EEA-ETC/TE, JRC, 2002)
	Proporção de áreas arbustivas		
	Proporção de áreas herbáceas		
	Proporção de outras áreas naturais		
	Proporção áreas agrícolas e naturais		
	Proporção áreas agrícolas		
	Proporção interface urbano-rural		
Climáticas	Média da temperatura máxima	1 km (30 arc s)	WorldClim (normals 1961-1990) (Hijmans <i>et al.</i> , 2005)
	Precipitação acumulada de Verão		
	Precipitação acumulada for a do Verão		
	Humidade Relativa	18.5 km (10')	Climate Research Unit (CRU) and Tyndall Centre (normals 1961-1990) (New <i>et al.</i> , 2002)
	Humidade do solo (anomalia média, no Verão)	5 km	JRC, Soil Moisture Archive (2010)
Infraestruturas	Densidade de auto-estradas	1/100.000	Tele Atlas (2007) (level 00)
	Densidade de estradas principais		Tele Atlas (2007) (levels 01 to 03)
	Densidade de estradas locais		Tele Atlas (2007) (levels 04 to 06)
	Densidade de linhas eléctricas	Vector	Platts, McGraw-Hill Research and Analytics, USA (2006)
Demográficas	Densidade populacional	100 m	Gallego (2010)
	Proporção de área de densidade urbana intermédia	1:3 million	EUROSTAT, GISCO (2001)
Socioeconómicas	Taxa de desemprego média	NUTS3	EUROSTAT Regional Statistics (2010, annual data)
	Densidade de gado (pecuária)	NUTS3	Farm Structure Survey, EUROSTAT (2000)

1.3. Metodologia

Todas as variáveis, dependentes e independentes, foram transformadas para uma escala contínua e uma resolução de 10 km². A investigação dos padrões de ocorrência de incêndios foi realizada através da aplicação da Geographically Weighted Regression (GWR, Fotheringham *et al.*, 2002), um método de análise espacial que calcula o valor de regressão para cada uma das observações (ou unidade de área), capturando as características espaciais das variáveis no modelo. Este método tem a capacidade de revelar as potenciais variações no nível de importância das variáveis na área de estudo, e as diferenças e semelhanças entre países e regiões. A GWR foi aplicada a duas regiões distintas na Europa do Sul, definidas através de uma análise exploratória da evolução do número de incêndios e das condições biogeográficas: Sudoeste e Sudeste da Europa (fig. 1). O Sudoeste da Europa é composto por Portugal, Espanha, França e Itália, e o Sudeste da Europa pela Eslovénia, Croácia, Bulgária, Grécia, Turquia e Chipre. Os restantes países da região Balcânica não possuem, até agora, dados que correspondam aos critérios definidos para a obtenção de variáveis, tendo sido, por isso, excluídos da análise.

Para a modelação da probabilidade de ocorrência de incêndios, foram aplicados dois métodos diferentes: regressão linear múltipla, amplamente aplicada em estudos sobre incêndios florestais (Keeley *et al.*, 2005; Syphard *et al.*, 2007; Sebastian-Lopez *et al.*, 2008) e Random Forest, uma alternativa não-paramétrica recente, baseada em árvores de classificação e regressão (Breiman 2001; Cutler *et al.* 2007; Prasad *et al.*, 2006). A capacidade preditiva e a importância das variáveis seleccionadas, estimada por ferramentas específicas de cada método, foram comparadas, com o intuito de verificar a aplicabilidade do método Random Forest na

modelação da susceptibilidade a incêndios. O modelo foi desenvolvido para os 5 países da Europa Ocidental mais afectados por incêndios (Portugal, Espanha, França, Itália e Grécia).

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1. Padrões espaciais da ocorrência de incêndios e factores estruturais

A distribuição do número de incêndios no Sul da Europa é extremamente heterogénea (fig. 2). O Sudoeste da Europa é a região com a média mais elevada de densidade de incêndios, que se concentram sobretudo no noroeste da Península Ibérica. A variabilidade é também evidente dentro de um país, verificando-se variações locais e regionais da densidade de fogos, como se verifica, por exemplo, para a Itália, onde as regiões do Sul são mais afectadas por incêndios (fig. 3).

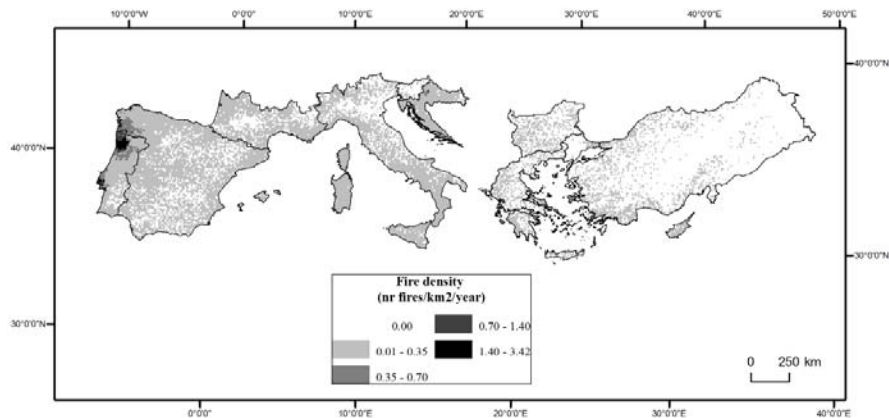


Figura 2. Média da densidade de incêndios (1996-2010) na área de estudo.

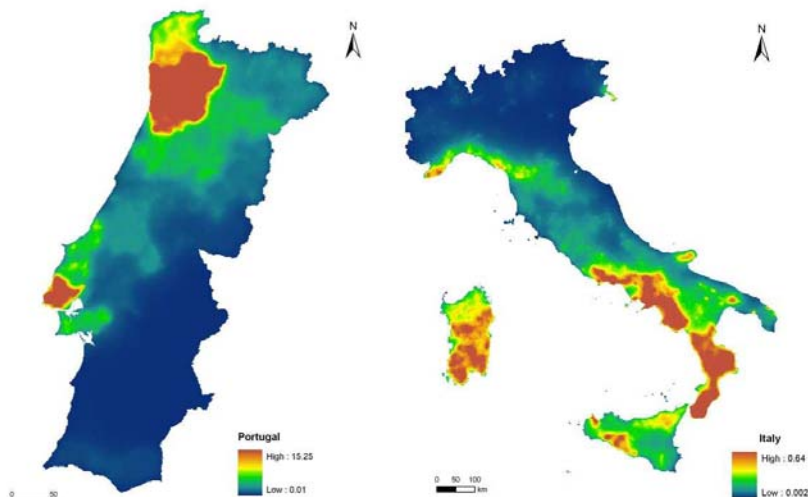


Figura 3. Média da densidade de incêndios (2000-2007) em dois países da área de estudo: Portugal e Itália. Os valores foram obtidos para cada país individualmente, para mostrar as diferenças dentro do território de cada um. As escalas de densidade são, por isso, diferentes entre os dois países, o que revela também diferenças na escala da densidade de incêndios entre ambos.

A análise da influência das variáveis revelou padrões distintos em cada região. A variável mais significativa, obtida a partir dos valores de T para cada unidade de área e calculados pela GWR, varia consoante o local. Em ambas as regiões, a precipitação fora do Verão, a densidade de gado caprino e a proporção de matos arbustivos surgem como a variável mais significativa em áreas específicas. No Noroeste da Europa (fig. 4), a precipitação fora do Verão e a densidade de gado caprino têm ambas uma influência positiva (aumenta a densidade de incêndios quando aumentam os valores destas variáveis). Estes resultados indicam que a precipitação fora da estação de Verão contribui para o crescimento da vegetação e para o aumento da carga de combustível, que estará depois disponível para arder na estação seca (Pausas, 2004; Moreno *et al.*, 2011). A associação entre incêndios e a precipitação foi verificada também por outros autores (Bravo *et al.*, 2010; Carvalho *et al.*, 2010; Drever *et al.*, 2008; Nunes *et al.*, 2013).

A importância da densidade de gado caprino sugere a relevância das actividades agrícolas na ocorrência de incêndios nesta região, provavelmente relacionadas com a queima de vegetação para manutenção ou criação de pastagens, conforme foi também indicado por diversos autores (Carmo *et al.*, 2011; Koutsias *et al.*, 2010; Martinez *et al.*, 2009).

A influência dos matos arbustivos na densidade de incêndios está associada ao tipo de vegetação disponível nesta cobertura do solo, cuja estrutura e grau de inflamabilidade conferem maior propensão para arder do que outros tipos de cobertura do solo, incluindo florestas (Carmo *et al.*, 2011; Mermoz *et al.*, 2005).

A densidade populacional é outro factor significativo para o aumento da densidade de incêndios em áreas específicas, sugerindo a importância da existência de agentes de ignição (pessoas) para o número de fogos no Sul da Europa, onde mais de 90% dos incêndios são de origem humana (Leone *et al.*, 2009).

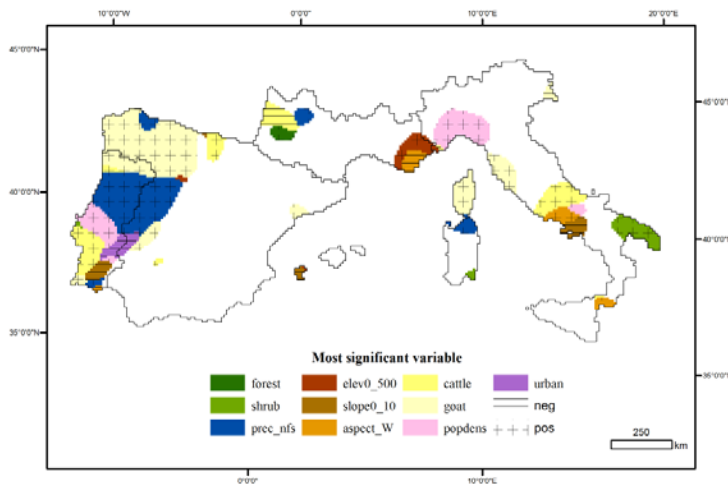


Figura 4. Distribuição da variável mais significativa para a densidade de incêndios no Sudoeste da Europa. Retirado de Oliveira, 2013

Apesar da variável dependente reflectir condições médias ao longo do período em estudo, verifica-se que, tanto a distribuição espacial, como a análise estrutural dos incêndios florestais no Sul da Europa reflectem, em parte, a ocorrência de situações extremas ao nível da densidade e dimensão de incêndios, ao longo do período em estudo. A elevada densidade de incêndios concentrada em áreas específicas, como no Noroeste da Península Ibérica e no Sudoeste da Grécia, resultou também de condições meteorológicas excepcionais, com temperaturas muito elevadas que favoreceram a ocorrência de incêndios, como foi o caso de Portugal, em 2003 e da Grécia, em 2007 (Boschetti *et al.*, 2008; Trigo *et al.*, 2006).

2.2. Modelação da susceptibilidade a incêndios nos países mais afectados

O método *Random Forest* forneceu resultados mais sólidos na avaliação da susceptibilidade a incêndios, em relação à regressão linear múltipla. A potencial existência de relações não lineares entre as diversas variáveis, não capturadas pela regressão múltipla, é uma das possíveis razões para a diferença nos resultados dos métodos. Apesar disso, os modelos seleccionaram

variáveis comuns, demonstrando a sua importância para a ocorrência de incêndios, independentemente do método aplicado. A precipitação, densidade de gado, densidade de estradas e taxa de desemprego são variáveis importantes para ambos os modelos. A precipitação fora do Verão tem uma associação positiva com a densidade de incêndios, sugerindo, uma vez mais, o seu potencial efeito no crescimento de vegetação e acumulação de combustível antes da estação seca, enquanto que a precipitação no Verão tem uma associação negativa com os incêndios e a sua ocorrência na estação mais seca diminui a densidade de fogos (Drever *et al.*, 2008).

Os resultados sugerem que as actividades agrícolas, reflectidas na associação positiva dos incêndios com a densidade de gado, contribuem para o aumento da densidade de fogos nestes países, o que se verificou também com a aplicação do método GWR, mencionado anteriormente. A densidade de estradas, particularmente as estradas locais, reflecte o nível de acessibilidade às áreas de ocorrência de incêndios, um factor de grande importância no contexto Europeu, onde a maioria dos incêndios são causados por pessoas. De facto, outros autores sugeriram esta associação entre estradas e incêndios em diversos locais, como na região central de Espanha (Romero-Calcerrada *et al.*, 2008), no sul da Califórnia (Syphard *et al.*, 2008) e em Portugal (Catry *et al.*, 2009).

A relação da densidade de incêndios com a taxa de desemprego tem sido apontada noutros estudos, embora a justificação para esta associação seja difícil (Martínez *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2012; Sebastián-López *et al.*, 2008) Neste caso, o modelo não-paramétrico de *Random Forest* identificou esta variável com maior importância do que o modelo de regressão linear múltipla, o que sugere a existência de uma relação não linear entre a densidade de fogos e a taxa de desemprego. Por um lado, o desemprego pode ser um indicador de depressão económica em determinadas áreas, o que está associado ao abandono da terra em áreas rurais; por outro lado, pode ser um indicador de potenciais conflitos sociais e ser uma motivação para ignições deliberadas (Ferreira de Almeida e Vilaça e Moura, 1992; Leone, 1999; Velez, 2000).

Os mapas de susceptibilidade a incêndios produzidos pelos modelos mostram uma grande variabilidade na sua distribuição espacial (fig. 5); as áreas mais susceptíveis a incêndios são o noroeste da Península Ibérica e o sul de Itália, enquanto que as áreas menos susceptíveis são o norte de França e o norte da Grécia, para ambos os modelos, embora o mapa derivado de *Random Forest* mostre uma menor dispersão espacial dos valores mais elevados, que correspondem com maior precisão à distribuição dos valores observados, indicando um melhor desempenho deste método.

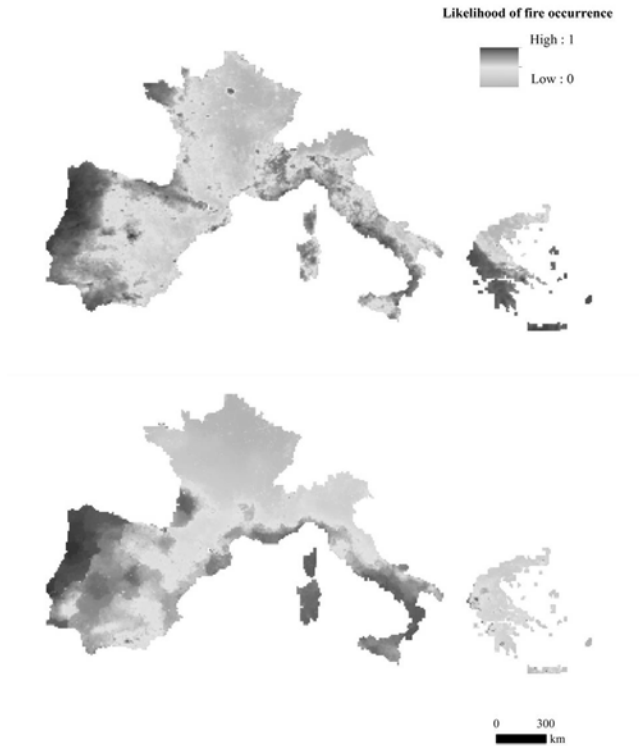


Figura 5. Mapas de susceptibilidade a incêndios resultantes do modelo de regressão múltipla (em cima) e *Random Forest* (em baixo). Adaptado de Oliveira et al., 2012

3. CONCLUSÃO

A distribuição espacial da densidade de incêndios é extremamente irregular no sul da Europa. As áreas mais susceptíveis à ocorrência de incêndios são o noroeste da Península Ibérica, o sul de França, o sul de Itália (incluindo as principais ilhas) e a região centro-sul da Grécia. Nestas áreas devem ser implementadas medidas de prevenção de forma atempada, focadas nos principais factores que explicam a sua propensão à maior densidade de incêndios e permitindo, assim, uma gestão mais eficiente dos recursos. Variáveis climáticas, como a precipitação antes do Verão, as actividades agrícolas, a densidade de estradas e factores socioeconómicos como o desemprego, são factores estruturais que influenciam grandemente a ocorrência de incêndios nesta região da Europa, a diferentes níveis consoante o local. O conhecimento aprofundado dos factores estruturais que determinam a distribuição dos incêndios no sul da Europa, pode contribuir também para promover a cooperação internacional, através da partilha de soluções para problemas comuns entre os vários países.

BIBLIOGRAFIA

- AMATULLI, G., CAMIA, A. (2007) Exploring the relationships of fire occurrence variables by means of CART and MARS models. *Proceedings of the 4th International Wildland Fire Conference*, Seville, Spain
- BADIA, A., SERRA, P., MODUGNO, S. (2011) Identifying dynamics of fire ignition probabilities in two representative Mediterranean wildland-urban interface areas. *Applied Geography* 31(3), 930–940
- BENTO-GONÇALVES, A., VIEIRA, A., ÚBEDA, X., MARTIN, D. (2012) Fire and soils: Key concepts and recent advances. *Geoderma* 191(0), 3–13

- BIROT, Y. (2009) "Living with wildfires: what science can tell us—a contribution to the science-policy dialogue." Introduction. European Forest Institute, Discussion paper 15, 7-8
- BOSCHETTI, L., ROY, D., BARBOSA, P., BOCA, R., JUSTICE, C. (2008) A MODIS assessment of the summer 2007 extent burned in Greece. *International Journal of Remote Sensing* 29(8), 2433–2436
- BRAVO, S., KUNST, C., GRAU, R., ARAOZ, E. (2010) Fire-rainfall relationships in Argentine Chaco savannas. *Journal of Arid Environments* 74, 1319–1323.
- BREIMAN, L. (2001) Random forests. *Machine Learning* 45, 5–32
- CAMIA, A., DURRANT HOUSTON, T., SAN-MIGUEL-AYANZ, J. (2010) The European fire database: development, structure and implementation. In VIEGAS DX (Ed.), *Proceedings of the VI International Conference on Forest Fire Research*, Coimbra, Portugal
- CARMO, M., MOREIRA, F., CASIMIRO, P., VAZ, P. (2011) Land use and topography influences on wildfire occurrence in northern Portugal. *Landscape and Urban Planning* 100(1), 169–176
- CARVALHO, A., FLANNIGAN, M. D., LOGAN, K. A., GOWMAN, L. M., MIRANDA, A. I., BORREGO, C. (2010) The impact of spatial resolution on area burned and fire occurrence projections in Portugal under climate change. *Climatic Change* 98(1-2), 177–197
- CATRY, F. X., REGO, F. C., BAÇÃO, F. L., MOREIRA, F. (2009) Modelling and mapping the occurrence of wildfire ignitions in Portugal. *International Journal of Wildland Fire* 18, 921–931.
- CONEDERA, M., TORRIANI, D., NEFF, C., RICOTTA, C., BAJOCOCO, S., PEZZATTI, G. B. (2011) Using Monte Carlo simulations to estimate relative fire ignition danger in a low-to-medium fire-prone region. *Forest Ecology and Management* 261(12), 2179–2187
- CUTLER, D. R., EDWARDS, T. C., BEARD, K. H., CUTLER, A., HESS, K. T., GIBSON, J., LAWLER, J. J. (2007) Random forests for classification in Ecology. *Ecology* 88 (11), 2783–2792
- DREVER, C. R., DREVER, M. C., MESSIER, C., BERGERON, Y., FLANNIGAN, M. (2008) Fire and the relative roles of weather, climate and landscape characteristics in the Great Lakes-St. Lawrence forest of Canada. *Journal of Vegetation Science* 19, 57–66
- EEA-ETC/TE (2002) CORINE Land Cover update: I&CLC2000 Project Technical Guidelines (European Topic Centre on Terrestrial Environment: Barcelona, Spain)
- EUROSTAT, 2000. Farm Structure Survey. Disponível em: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>>
- EUROSTAT, 2001. Degree of urbanisation. GISCO database (Geographic Information System of the European Commission). Disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/gisco_Geographical_information_maps/popups/references/Population%20Distribution%20-%20Demography>
- EUROSTAT, 2010. Regional Statistics. Disponível em: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>>
- FERREIRA DE ALMEIDA, A. M. S., VILAÇA E MOURA, P. V. S. (1992) The relationship of forest fires to agro-forestry and socio-economic parameters in Portugal. *International Journal of Wildland Fire* 2, 37–40.
- FOTHERINGHAM, A. S., BRUNSDON, C., CHARLTON, M. (2002) "Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships". Wiley New York
- GALLEGO, F. J. (2010) A population density grid of the European Union. *Population and Environment* 31 (6), 460–473
- HIJMANS, R. J., CAMERON, S. E., PARRA, J. L., JONES, P. G., JARVIS, A. (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25, 1965–1978
- JAPPIOT, M., GONZÁLEZ-OLABARRIA, J. R., LAMPIN-MAILLET, C., BORGNIE, L. 2009. Assessing wildfire risk in time and space. In Birot, Y., 2009 (Ed). "Living with wildfires: what science can tell us. A contribution to the Science-Policy Dialogue". European Forest Institute, Discussion Paper 15, 41-48
- JARVIS, A., REUTER, H. I., NELSON, A., GUEVARA, E. (2008) Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture, CIAT. Disponível em: <<http://srtm.csi.cgiar.org>>
- JRC – JOINT RESEARCH CENTER OF THE EUROPEAN COMMISSION (2010) Soil Moisture Archive, Joint Research Centre, European Commission. Disponível em: <<http://desert.jrc.ec.europa.eu/action/php/index.php?action=view&id=19>>
- KEELEY, J. E., FOTHERINGHAM, C. J., BAER-KEELEY, M. (2005). Determinants of postfire recovery and succession in mediterranean-climate shrublands of California. *Ecological Applications* 15(5), 1515–1534

- KOUTSIAS, N., MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J., ALLGÖWER, B. (2010) Do factors causing wildfires vary in space? Evidence from geographically weighted regression. *GIScience & Remote Sensing* 47(2), 221–240
- LEONE, V. (1999) Los incendios en el Medio día Italiano. In: ARAQUE JIMENEZ E (Ed.) "Incendios históricos: una aproximación multidisciplinaria". Universidad Internacional de Andalucía, Seville
- LEONE, V., LOVREGGIO, R., MARTÍN, M. P., MARTÍNEZ, J., VILAR, L. (2009) Human Factors of Fire Occurrence in the Mediterranean. In Chuvieco E (ed) "Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems" Springer Berlin Heidelberg, 149–170
- MARTÍNEZ, J., VEGA-GARCIA, C., CHUVIECO, E. (2009) Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management* 90(2), 1241–1252
- MERMOZ, M., KITZBERGER, T., VELEN, T. T. (2005) Landscape influences on occurrence and spread of wildfires in Patagonian forests and shrublands. *Ecology* 86, 2705–2715
- MORENO, J. M., ZUAZUA, E., PÉREZ, B., LUNA, B., VELASCO, A., RESCO DE DIOS, V. (2011) Rainfall patterns after fire differentially affect the recruitment of three Mediterranean shrubs. *Biogeosciences* 8, 3721–3732.
- MOREIRA, F., VIEDMA, O., ARIANOUTSOU, M., CURT, T., KOUTSIAS, N., RIGOLOT, E., BARBATI, A., CORONA, P., VAZ, P., XANTHOPOULOS, G. (2011) Landscape–wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management. *Journal of environmental management* 92(10), 2389–2402
- MOREIRA, F., ARIANOUTSOU, M., VALLEJO, V. R., HERAS, J., CORONA, P., XANTHOPOULOS, G., FERNANDES, P., PAPAGEORGIOU, K. (2012) Setting the Scene for Post-Fire Management. In MOREIRA F, ARIANOUTSOU M, CORONA P (eds.) "Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests", Springer Netherlands, 1–19
- MOREIRA, F., REGO, F. C., FERREIRA, P. G. (2001) Temporal (1958–1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape Ecology* 16(6), 557–567
- NEW, M., LISTER, D., HULME, M., MAKIN, I. (2002) A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research* 21, 1–25
- NUNES, A., LOURENÇO, L., BENTO-GONÇALVES, A., VIEIRA, A. (2013). Três décadas de incêndios florestais em Portugal: incidência regional e principais fatores responsáveis. *Cadernos de Geografia* 32, 133-143
- OLIVEIRA, S., OEHLER, F., SAN-MIGUEL-AYANZ, J., CAMIA, A., PEREIRA, J. M. C. (2012) Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using Multiple Regression and Random Forest. *Forest Ecology and Management* 275, 117–129
- OLIVEIRA, SANDRA (2013) *Spatial patterns of fire occurrence in Southern Europe. Long-term assessment and environmental drivers*. Tese de doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 2013
- PAUSAS, J. G. (2004) Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic change* 63(3), 337–350
- PAUSAS, J. G., LLOVET, J., RODRIGO, A., VALLEJO, R. (2008) Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin?—A review. *International Journal of Wildland Fire* 17(6), 713–723
- PLATTS, McGraw-Hill Research and Analytics, USA, 2006. Disponível em: <<http://www.platts.com/Products/gisdata>>
- PRASAD, A. M., IVERSON, L. R., LIAW, A. (2006) Newer classification and regression tree techniques: bagging and random forests for ecological prediction. *Ecosystems* 9, 181–199
- REUTER, H. I., NELSON, A., JARVIS, A. (2007) An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data. *International Journal of Geographical Information Science* 21 (9), 983–1008
- ROMERO-CALCERRADA, R., NOVILLO, C., MILLINGTON, J. D. A., GOMEZ-JIMENEZ, I. (2008) GIS analysis of spatial patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (Central Spain). *Landscape Ecology* 23(3), 341–354
- SÁ, A. C. L., PEREIRA, J. M. C., CHARLTON, M. E., MOTA, B., BARBOSA, P. M., STEWART FOTHERINGHAM, A. (2010) The pyrogeography of sub-Saharan Africa: a study of the spatial non-stationarity of fire–environment relationships using GWR. *Journal of Geographical Systems* 13, 227–248
- SAN-MIGUEL, J., CAMIA, A. (2009) Forest fires at a glance: facts, figures and trends in the EU. In Birot, Y., 2009 (Ed). "Living with wildfires: what science can tell us - A contribution to the Science-Policy Dialogue". European Forest Institute, Discussion Paper 15, 11–18
- SAN-MIGUEL-AYANZ, J., RODRIGUES, M., OLIVEIRA, S. S., PACHECO, C. K., MOREIRA, F., DUGUY, B., CAMIA, A. (2012) Land Cover Change and Fire Regime in the European

- Mediterranean Region. In MOREIRA F, ARIANOUTSOU M, CORONA P (eds.) "Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests", Springer Netherlands, 21–43
- SAN-MIGUEL-AYANZ, J., MORENO, J. M., CAMIA, A. (2013) Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *Forest Ecology and Management* 294, 11-22
- SEBASTIÁN-LÓPEZ, A., SALVADOR-CIVIL, R., GONZALO-JIMÉNEZ, J., SANMIGUEL-AYANZ, J. (2008) Integration of socio-economic and environmental variables for modeling long-term fire danger in Southern Europe. *European Journal of Forest Research* 127(2), 149–163
- SYPHARD, A. D., RADELOFF, V. C., KEELY, J. E., HAWBAKER, R. J., CLAYTON, M. K., STEWART, S. I., HAMMER, R. B. (2007) Human influence on California Fire Regimes. *Ecological Applications* 17, 1388–1402
- TELE ATLAS NV AND TELE ATLAS NORTH AMERICA (2007) Tele Atlas MultiNet_ Version 3.4.2.1 Data Specification
- TRIGO, R. M., PEREIRA, J. M. C., PEREIRA, M. G., MOTA, B., CALADO, T. J., DACAMARA, C. C., SANTO, F. E. (2006) Atmospheric conditions associated with the exceptional fire season of 2003 in Portugal. *International Journal of Climatology* 26(13), 1741–1757
- VELEZ, R. (2000) La prevencion. In GARCIA-BRAGE, A. (Ed.) "La defensa contra incêndios forestales fundamentos y experiencias". McGraw-Hill/Interamericana de Espana, Madrid

