



territorium • 26(I)

REVISTA INTERNACIONAL DE RISCOS | INTERNATIONAL JOURNAL OF RISKS

INCÊNDIOS FLORESTAIS

Imprensa da Universidade de Coimbra
Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

2019

(Página deixada propositadamente em branco)

territorium 26 (I)

Incêndios Florestais
Forest Fires

Janeiro - Junho
2019

FICHA TÉCNICA

Proprietário / Proprietor

RISCOS^o - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

Redação e administração / Editing and administration

(Toda a correspondência deve ser dirigida a;
Letters should be addressed to):

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

Aeródromo da Lousã

Chã do Freixo

3200-395 VILARINHO, LSA

PORTUGAL

Tel.: +351 239 992 251; Fax: +351 239 836 733

E-mail: riscos@riscos.pt

Fotografia da capa / Cover photo

Incêndios florestais, uma realidade que teima em persistir

Forest fires, a reality that continues to persist

Localização / Location: Desconhecido / Unknown

Fotografia / Photo: by Skeeze via Pixabay

Edição / Edition

RISCOS^o - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

IUC^o - Imprensa da Universidade de Coimbra

Paginação / Formatting and Layout

Mestre Fernando Félix

Resumos e legendas, revisão em inglês / Abstracts and captions, English review

Jean Burrows

Distribuição e Assinaturas / Distribution and Subscriptions:

Venda (vente; sale):

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

Número avulso (single issue): 25 €

Assinatura anual (um número + correio);

Annual subscription (1 volume + post charge):

Portugal: 27,50 €; Europa/Europe: 30€;

Outros países/Other countries: 35 \$USD

Pré-impressão e Impressão / Print Preview and Printing:

Simões & Linhares, Lda.

Rua do Fetal, Lote 5, 3020-923 Coimbra

Periodicidade / Periodicity

Semestral / Biannual

Tiragem / Print run

250 exemplares

Público alvo / Target audience

Professores, Agentes de Proteção Civil, Autarcas, Estudantes e Cidadãos.

Teachers, Civil Protection Agents, Politicians, Students and Citizens.

Arbitragem / Peer-review

Os artigos submetidos para publicação são sujeitos a revisão por

dois especialistas

Articles submitted for publication are subject to review by two experts

(double-blind)

Depósito Legal n.º 106376/96

ISSN Digital: 1647-7723

ISSN: 0872-8941

DOI: <https://doi.org/10.14195/1647-7723>

URL:

<https://territorium.riscos.pt/>

<https://digitalis.uc.pt/en/revista?id=107789&sec=5>

<http://impactum-journals.uc.pt/index.php/territorium>

Indexada em / Indexed in

Latindex; Qualis da CAPES (2013-2016); ERIH-PLUS; Dialnet; DOAJ; REDIB

Apoios:
Sponsors:



NOTA DE ABERTURA

A importância crescente dos incêndios florestais um pouco por todo o mundo justifica que a Territorium lhes dedique dois volumes, correspondentes ao número 26, o primeiro para dar uma visão do que sucede pelo mundo e, o segundo, para tratar do problema em Portugal.

Ainda que o contributo para este primeiro número não tivessem sido geograficamente tão abrangentes quanto era expectável e conhecidas as razões que levam a que, cada vez mais, tenhamos maiores incêndios, não só em Portugal, mas também um pouco por todo o mundo mediterrâneo, este número começa por apresentar exemplos de incêndios de algumas regiões do globo, designadamente do Chile, um país que, como Portugal, é regular e violentamente afetado por incêndios florestais.

Ainda no hemisfério sul, mas já no continente africano, também se analisa o problema dos incêndios nas savanas, tomando como exemplo o Parque Nacional Kruger, da África do Sul.

Os artigos seguintes focam-se em aspetos metodológicos, quer na utilização de imagens de satélite para desenvolver índices de risco de incêndio, quer na definição de modelos conceptuais ou na produção voluntária de informação geográfica para introduzir nos sistemas de alerta do Brasil, com vista à gestão do risco de incêndio florestal.

Os impactes dos incêndios florestais também são analisados no Brasil, como é o caso de estudo da Serra do Lenheiro.

Os dois últimos artigos fazem a transição para o contexto português, que se segue e desenvolve no próximo volume, através de dois estudos de incêndios nas fronteiras Norte e Centro-Este de Portugal, respetivamente com as províncias da Galiza e da Extremadura, da vizinha Espanha.

As consequências dos incêndios são muitas e variadas, podendo ser abordadas sob múltiplas perspetivas, pelo que são aqui tratadas numa das menos conhecidas e que diz respeito aos seus efeitos sobre o solo, entendido como um recurso e que, também por isso, deve merecer especial atenção.

Encerra-se este volume com uma nota sobre avaliação dos danos causados à atmosfera por incêndios violentos, cinco notícias e com duas recensões sobre livros relacionados com a problemática dos incêndios florestais.

INTRODUCTORY NOTE

The growing importance of forest fires throughout the world is the reason why Territorium is assigning two volumes, number 26, the first gives an overview of what is happening in the world and the second looks more closely at the problem in Portugal.

Even though contributions to this first issue were not as geographically wide-ranging as expected and we know why there are more and more fires, not only in Portugal, but also to some extent throughout the Mediterranean world. This issue thus begins by presenting examples of fires from other parts of the world, particularly Chile, a country that is regularly affected by violent forest fires.

Still in the southern hemisphere, but on the African continent, the problem of savanna fires is analysed, taking South Africa's Kruger National Park as an example.

The following articles focus on methodological aspects, namely, the use of satellite imagery to develop fire risk indexes, the definition of conceptual models, and the voluntary production of geographic information to be introduced into Brazil's warning systems, with a view to managing forest fire risk.

The impacts of forest fires in Brazil are also analysed, as is the case of the Serra do Lenheiro study.

The last two articles make the transition to the Portuguese context, which follows and develops in the next issue, through two studies on fires in the northern and central-eastern borders of Portugal with, respectively, the Spanish provinces of Galicia and Extremadura.

The consequences of wildfires are many and varied and can be approached from various angles. They are therefore dealt with here from one of the less well-known perspectives which looks at their effects on the soil, seen as a resource and for this reason it should also get special attention.

This issue concludes with a note on the assessment of the damage to the atmosphere wrought by violent wildfires, five news reports, and with two reviews of books related to the problem of forest fires.

(Página deixada propositadamente em branco)



RISCOS



SEVERIDAD DEL FUEGO EN LOS MEGA INCENDIOS FORESTALES OCURRIDOS EN CHILE, EN 2017.
ACCIONES PARA MEJORAR EL SISTEMA DE PROTECCIÓN*

5

FIRE SEVERITY IN MEGA WILDFIRES IN CHILE IN 2017.
ACTIONS TO IMPROVE THE PROTECTION SYSTEM

Miguel Castillo S.

Laboratorio de Incendios Forestales, Universidad de Chile (Chile)
ORCID 0000-0002-3880-9441 migcasti@uchile.cl

Jorge Saavedra S.

Sección Análisis y Predicción de Incendios Forestales en Corporación Nacional Forestal (Chile)
jorge.saavedra@conaf.cl

Jordi Brull B.

Sección Análisis y Predicción de Incendios Forestales en Corporación Nacional Forestal (Chile)
jordi.brull@conaf.cl

RESUMEN

Se analizan tres grandes incendios forestales ocurridos en Chile en la pasada temporada de 2017. Fueron eventos catastróficos nunca antes vistos en este país, por lo menos desde la época de la colonización del sur de Chile, hace más de 150 años. El artículo se organiza, primero, con una breve descripción de la ocurrencia y cifras de daños, para luego aplicar el concepto de severidad en estos tres incendios. Luego se explican algunas referencias sobre las líneas de investigación necesarias para mejorar el actual programa de protección contra incendios forestales en Chile.

Palabras clave: Incendio forestal, riesgo, peligro, severidad.

ABSTRACT

We analysed the three major forest fires that occurred in Chile in 2017. They were catastrophic events never before seen in this country, at least since southern Chile was colonized more than 150 years ago. After a brief description of the events and the cost of damage, we applied the concept of severity to the three events, and discuss some of the research needed to improve the current programmes protecting against wildfires in Chile.

Keywords: Forest fire, risk, danger, severity.

* O texto deste artigo foi submetido em 10-09-2018, sujeito a revisão por pares a 19-11-2018 e aceite para publicação em 14-12-2018.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 26 (I), 2019, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introducción

Los últimos mega incendios forestales ocurridos en Chile durante 2017, se desarrollaron bajo condiciones ambientales de comportamiento extremo, favorecidos por la prolongada condición de sequía que ha afectado al país en los últimos 8 años, junto al aumento de las condiciones de peligro, especialmente por la acumulación de combustible forestal seco y factores de continuidad espacial de bosques y plantaciones que permitieron el rápido avance de las llamas. En tan sólo 3 semanas, se consumieron aproximadamente 460.000 ~~460.000~~ hectáreas, lo que equivale a más de 7 veces el promedio anual en un período de 8 meses de incendios forestales. En toda la temporada de incendios, se quemaron 575.000 hectáreas de vegetación. Estudios realizados por el Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Chile (Castillo *et al.*, 2016), indican que la condición de propagación está aumentando violentamente en los últimos años, haciendo que los modelos matemáticos creados para Chile necesiten ser revisados permanentemente para poder estimar los futuros escenarios bajo condiciones de peligro que no se presentaban en años anteriores, particularmente en lo referente a la susceptibilidad de la vegetación a la ignición e inflamabilidad.

Este nuevo escenario involucra un área aproximada de 14,5 millones de hectáreas que comprometen la región centro-sur de Chile, en donde coexisten distintas formaciones de bosque nativo, y que en el área de estudio corresponde a especies del matorral y bosque esclerófilo (Garfias *et al.*, 2018) y también plantaciones forestales con fines de producción, cuyas principales especies corresponden a pino radiata y eucaliptus (diversas especies de este género). En particular, los mayores daños se presentaron en el bosque esclerófilo, formación representada por especies nativas tolerantes a las condiciones mediterráneas de sequía, pero extremadamente dañadas por los incendios debido a los altos niveles de intensidad alcanzados por el fuego y la severidad extrema resultante de la propagación descontrolada en miles de hectáreas. De acuerdo a estudios de este Laboratorio, Garfias *et al.*, (2018) concluyen determinan que se perdió cerca de un 18 % de este tipo de bosque en la región central, en el verano de 2017, dando paso a extremas condiciones de exposición y degradación de cuencas hidrográficas que han iniciado un proceso de erosión producto de las primeras lluvias que comenzaron a presentarse a contar del mes de abril. Actualmente, pasados 5 meses de estos enormes incendios, se hace necesario establecer un catastro sobre aquellas áreas de la investigación que están vigentes y aquellas que necesitan ser revisadas para poder mejorar la calidad del conocimiento en manejo del fuego en Chile, y permitir con ello proponer nuevas estrategias

para fortalecer los mecanismos de prevención y combate de incendios forestales.

Los incendios forestales en Chile Central, particularmente entre las latitudes 32°22'S-36°48'S, se constituyen anualmente en un agente de perturbación en el paisaje vegetal del bosque nativo mediterráneo, también en plantaciones forestales con fines comerciales y en una extensa variedad de infraestructuras cercanas a zonas forestales, especialmente viviendas e industrias.

El cambio climático, la dinámica existente en el uso del suelo y el aumento en la intencionalidad como causa de inicio de incendios, son realidades que han abierto la necesidad de seguir perfeccionando los programas de defensa contra incendios forestales en el país, acentuando fuertemente el énfasis en la modernización de la infraestructura preparada para la ocurrencia y propagación de incendios cada vez más conflictivos, como también en la ineludible misión de fortalecer la institucionalidad del Estado de Chile para resguardar el patrimonio forestal y ambiental derivado de la existencia de más de 15 millones de hectáreas vulnerables al impacto de los incendios forestales (Castillo *et al.*, 2016). Adicionalmente en los últimos 10 años se ha evidenciado un significativo aumento de la condición de peligro del material vegetal combustible inserto en condiciones fisiográficas que favorecen el avance del fuego.

Existe además una urgente necesidad de modernizar la legislación en el sistema de regulaciones y sanciones debido al uso irresponsable del fuego y el sostenido aumento de la intencionalidad pese a los enormes esfuerzos hechos por el Estado de Chile para dotar con mayor cantidad de recursos año tras año al inicio de las temporadas de incendios. Existen dos aspectos aún deficitarios: debilidades en la formación educativa ambiental de los niños y jóvenes, y el escaso interés de las agencias de financiamiento al estímulo de proyectos de investigación en manejo del fuego.

La actual legislatura ha estado nuevamente proponiendo iniciativas para avanzar en el ámbito de la protección contra incendios forestales y también iniciativas de organismos privados y académicos en el estudio de los daños y efectos producidos por el fuego. Los últimos incendios ocurridos en 2017 en la zona mediterránea produjeron enormes pérdidas económicas y también daños al funcionamiento ecológico de ecosistemas que ciertamente están adaptados a la presencia del fuego, pero con límites de resiliencia que fueron notoriamente superados por las características de intensidad y severidad de los daños.

En este artículo se presenta un breve análisis de las características que adquirieron los principales incendios ocurridos en la zona central de Chile ocurridos en el mes de enero 2017.

Referencias iniciales

La ocurrencia de incendios forestales está normalmente asociada a aquellos factores, causas y situaciones que de una u otra manera facilitan la acción inicial de todo evento de fuego, y que corresponde a la acción del encendido. Este fenómeno, producido por la interacción del calor, oxígeno y material combustible, originan la ignición inicial y con ello la propagación del fuego. En el contexto de los incendios forestales, los elementos causales varían dependiendo de la región geográfica en cuestión, de aspectos socioculturales de las naciones, de la forma en que se percibe el manejo del fuego para múltiples tareas silvoagropecuarias, y también de aspectos de tipo normativos que regulan la actividad. En muchos casos, el aumento de la intencionalidad y el uso irresponsable del fuego agravan el problema, ocasionando con ello un notorio aumento en las estadísticas de ocurrencia de incendios forestales. En ecosistemas mediterráneos del Sur de Europa, California, Sur de Australia, Nueva Zelanda y Chile, este fenómeno está condicionado en gran medida por la actividad humana, siendo la intencionalidad, una de las principales causas de incendios forestales, con variantes y énfasis dependiendo de los países insertos en las regiones antes señaladas.

Este fenómeno de encendido, con una causa conocida, se denomina riesgo. En un sentido estadístico y de evaluación prolongada (múltiples temporadas de incendios forestales), corresponde a la formación de áreas críticas de ocurrencia (número de incendios forestales que ocurren en un área determinada, en un período de evaluación - normalmente anual o cada 5 años - y que se evalúan en relación a una unidad de superficie estandarizada y conocida). Esta área crítica, dependiendo de la escala geográfica, da lugar a problemas de concentración específica de incendios, denominado sector crítico. En el caso de Chile, y también en muchos países de ecosistema mediterráneo, estas áreas con presencia frecuente de incendios forestales dependen de: la ocurrencia histórica de incendios (y sus causas asociadas), la presencia de caminos y sectores de alto tránsito de personas y vehículos, la presencia de actividades relacionadas a tareas silvoagropecuarias, la localización de centros poblados y también otro tipo de actividades locales que puedan concentrar alta afluencia de personas en un área y período determinado.

Lo anterior, para un efecto de análisis estratégico, se denomina riesgo de incendios forestales. Es un fenómeno que no depende directamente de las condiciones meteorológicas ni tampoco de la vulnerabilidad, dado que se enfoca específicamente a la casuística de ocurrencia. De hecho, es frecuente encontrar temporadas con condiciones meteorológicas muy propicias para el encendido, y sin embargo éste no se produce, o bien la estadística muestra una disminución

en la tasa de ocurrencia. Esto último sucede cuando el factor de ignición no se hace presente, aun cuando se cumplan todas las condiciones para el entorno para una fácil propagación del fuego.

En el sentido meteorológico, el riesgo de incendios forestales posee un significado distinto. En Chile está referido a la probabilidad de ocurrencia diaria de un evento, principalmente dependiente de los siguientes factores: temperatura, humedad relativa del aire, velocidad y dirección del viento, un factor acumulado de sequía de los combustibles forestales y un factor de estacionalidad referido a la condición de vulnerabilidad de la vegetación en períodos secos. De esta manera se generan ecuaciones que expresan la probabilidad de ocurrencia acotada a zonas geográficas específicas, en las cuales también se considera el historial acumulado de incendios forestales. Este indicador puede ser expresado a distintas escalas geográficas, y puede ser evaluado varias veces durante el transcurso de un día determinado, siendo posible conocer su tendencia acumulada durante un período mayor, complementando muy bien los resultados derivados del análisis histórico de Riesgo de incendios forestales.

El riesgo histórico de incendios forestales como también la probabilidad de ocurrencia diaria, una vez que se expresan en el inicio de un incendio forestal declarado, pasa entonces a depender de un segundo factor denominado peligro, y que corresponde a aquellos aspectos relacionados con la propagación potencial del fuego. Este concepto basa su comprensión en el análisis del comportamiento del fuego, principalmente lo relacionado a la velocidad de avance de las llamas, la intensidad calórica, el tamaño y forma de la expansión del área quemada, el efecto de la topografía, el clima local, y por sobre todo el resto de estos factores, las características de la vegetación que está siendo afectada por el incendio. En tal sentido, un modelo de análisis multicriterio caracteriza el peligro como las condiciones necesarias para la expansión de los incendios, de acuerdo a las variables de vegetación, topografía y clima antes señaladas. De esta manera, es posible establecer pronósticos en la propagación del fuego basado en el apoyo de simuladores que consideran todos estos elementos para recrear, con un cierto grado de error en las estimaciones, la dirección potencial de avance del fuego, sus posibilidades de crecimiento, y también proporcionar información base para establecer acciones técnicas para el eventual control en su propagación perimetral.

Este componente de peligro está presente en consecuencia, en los análisis territoriales de determinación de prioridades de protección que normalmente se establecen para extensas superficies de bosques e infraestructura vulnerable a la acción del fuego. En cuanto a su utilidad como componente operativo, y de la misma manera que el riesgo, el peligro puede ser utilizado mediante análisis

dinámico respecto al pronóstico de la propagación, incluso actualmente con la utilización de una variada gama de datos y herramientas de apoyo basadas en sensores remotos tales como MODIS y VIIRS, capaces de monitorear las características de desarrollo de un incendio forestal de gran magnitud, tal como los ocurridos en varias partes del mundo en 2017.

El fuego se desarrolla de manera dinámica dependiendo de la tasa de producción de energía y del comportamiento de las llamas en relación a las condiciones locales, especialmente topográficas y el viento (velocidad y dirección). Esta producción energética se denomina intensidad, y que depende esencialmente de la velocidad de reacción, de la profundidad del estrato superficial de combustibles, también del poder calorífico del material en combustión, del contenido de humedad de la vegetación y los minerales integrados al suelo. La combinación de todos estos componentes, producen un valor de energía, normalmente expresado en kilocalorías de calor radiante que se propaga por los estratos horizontal y vertical del material en ignición. Se trata de un proceso dinámico y complejo pues en él pueden interactuar una diversidad de tipos de combustibles y factores externos que aceleran o retardan el proceso de liberación de energía, entre ellos el viento y la columna de convección de gases incandescentes.

Los incendios forestales en Chile

Chile destaca por poseer un buen sistema estadístico de registro de incendios forestales, desde el año 1986

en adelante. La dinámica de la ocurrencia y daños ha podido ser estudiada a lo largo de este período, evidenciándose importantes cambios en la recurrencia de episodios críticos a partir de 1998, que es cuando en el país se presentan con mayor frecuencia e intensidad los episodios prolongados de sequías y consecuentemente, un aumento en la condición de peligro. En la fig. 1 se observa una síntesis del número de incendios en los últimos 55 años. Las bajas cifras observadas desde 1986 hacia atrás se deben principalmente a que en esos años no se contaba con estadísticas completamente fiables, siendo muy esperable que la cantidad de incendios haya experimentado una tendencia similar a la observada en los tiempos presentes.

Respecto a los daños ocasionados por incendios forestales en Chile, las cifras son en general estables en el tiempo, salvo la temporada 2016-2017, en donde se quemaron cerca de 575.000 hectáreas entre bosques, matorrales, pastizales y plantaciones forestales. La variabilidad de estas cifras ha sido notable, posiblemente debido a la escasez de datos con anterioridad a 1990, y también por cambios en la dinámica de la ocurrencia y causalidad en los últimos 15 años. En la temporada 2016-2017 ocurrieron los más grandes y desastrosos incendios forestales en la historia contemporánea de Chile (Bowman *et al.*, 2017). En sólo 3 meses, miles de hectáreas de bosque nativo, matorral y plantaciones fueron arrasadas por el fuego, acentuando aún más la necesidad de desarrollar iniciativas y estudios para la restauración de ecosistemas degradados por el fuego. Como se indicaba anteriormente, se combinaron distintos

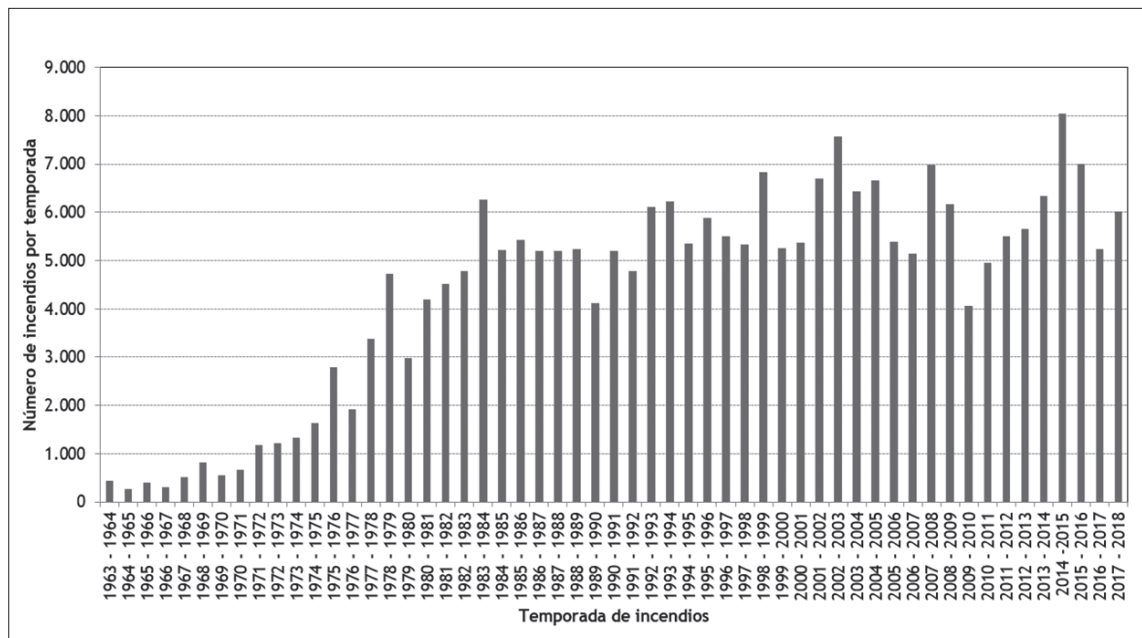


Fig. 1 - Número de incendios forestales en Chile, desde 1963 (Fuente: Corporación Nacional Forestal (CONAF)).

Fig. 1 - Number of wildfires in Chile, since 1963 (Source: National Forestry Corporation (CONAF)).

factores causales de los grandes incendios forestales: sequía acumulada, alta carga de combustible seco y liviano, condiciones favorables de continuidad horizontal y vertical del material vegetal, y factor meteorológico local expresado en altas temperaturas y fuertes vientos que se desarrollaron en toda la región central de Chile. Estos factores, permitieron el desarrollo de una alta condición de peligro en la propagación, la cual fue expresada en la ocurrencia y posterior crecimiento de los incendios forestales (fig. 2).

Sin embargo, paralelo a estos efectos, el fuego actúa como factor selectivo que trae como consecuencia la adaptación de organismos vivos, adaptación que llega en ocasiones hasta la dependencia. En la vegetación mediterránea de Chile se encuentran varias especies que exhiben adaptaciones al fuego, entre ellas la Palma Chilena (*Jubaea chilensis* Mol.), Peumo (*Cryptocarya alba* Mol. Looser), Boldo (*Peumus boldus* Mol.), Litre (*Lithraea caustica* Mol.), y Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) (Gajardo, 1994; Quintanilla, 1999). No obstante,

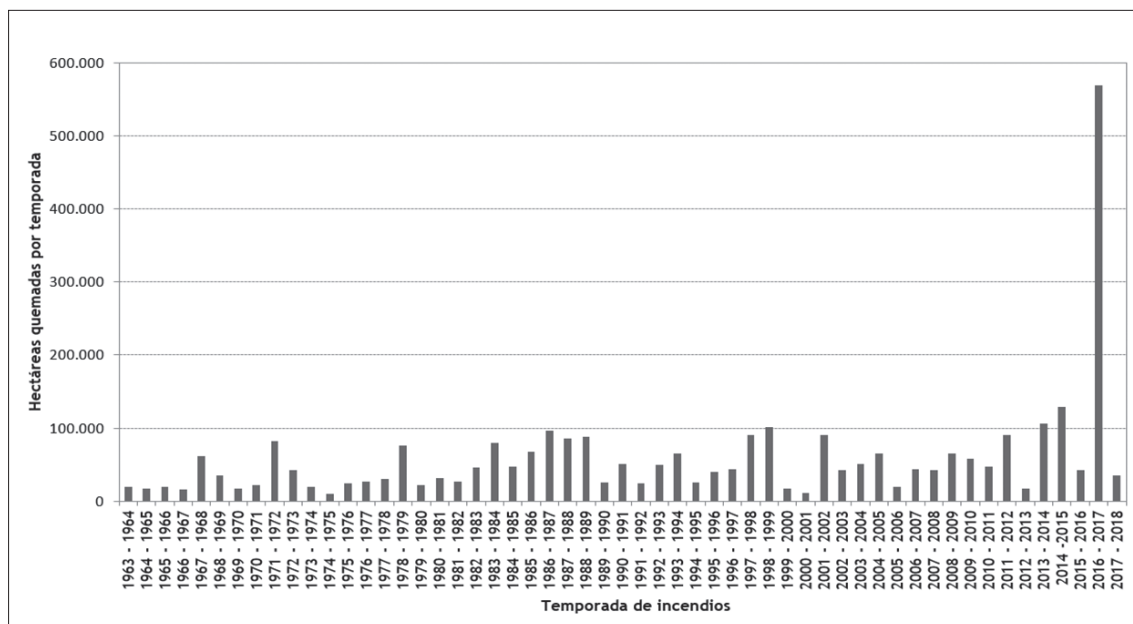


Fig. 2 - Daño ocasionado por incendios forestales en Chile, desde 1963 (Fuente: Corporación Nacional Forestal (CONAF)).

Fig. 2 - Area burned by wildfires in Chile, since 1963 (Source: National Forestry Corporation (CONAF)).

En los últimos 10 años el promedio ha aumentado a 5.864 incendios/año y superficie afectada de 124.957 has., es decir, más de dos veces la cifra histórica desde 2007 hacia atrás. En 2018 las cifras han sido más bajas, principalmente por un cambio en las condiciones climáticas de Chile Central, lo que trajo consigo mayores precipitaciones y menores temperaturas en la zona donde se registraron la mayor cantidad de incendios en 2017.

Los incendios de vegetación tienen serias consecuencias sobre el funcionamiento de los ecosistemas, aun en aquellos aparentemente adaptados a fuegos frecuentes. El fuego puede destruir completamente extensas áreas de vegetación nativa, así como de plantaciones forestales, con el consiguiente impacto sobre los servicios ecosistémicos y los daños económicos. Se ha reportado que los daños del fuego sobre los suelos pueden también ser importantes; en particular facilitan la pérdida de suelo por erosión y la pérdida de nutrientes como consecuencia de la formación de capas de hidrofobicidad (García-Chevesich *et al.*, 2010; Pausas *et al.*, 2008).

el aumento de la fragmentación de paisajes, el cambio en el uso del suelo y la creciente demanda de agua, ha ocasionado el aumento en la vulnerabilidad de muchas especies del bosque nativo de Chile Central.

Dado su valor ecológico, en especial su importante biodiversidad, los bosques nativos de Chile mediterráneo requieren protección inmediata. Esta necesidad es aún más urgente en vista de los catastróficos incendios de vegetación recientes y la probabilidad cierta de que puedan ocurrir otros, en virtud de la severidad de las condiciones meteorológicas que se vislumbran, serán cada vez más evidentes.

Los estudios de caracterización de la conducta del fuego en los incendios de vegetación han experimentado un notable aumento en los últimos años, a la par del incremento de la frecuencia y la severidad de los incendios en distintas regiones del mundo (Ferreira-Leite *et al.*, 2016; Roldán-Zamarrón *et al.*, 2006; Keeley *et al.*, 2008; Costafreda-Aumedes *et al.*, 2017), como también por las grandes dimensiones que logran

alcanzar en condiciones meteorológicas extremas para la propagación del fuego (Ferreira-Leite *et al.*, 2017; Franca Rocha, 2017). Estos dos últimos autores abordan el fenómeno de expansión de grandes incendios forestales ocurridos en Brasil, mientras que Ferreira-Leite *et al.*, (2015) abordan distintos estudios de caso sobre mega incendios ocurridos en los últimos años en el mundo. Este conocimiento es trascendente ya que contribuye por una parte a las iniciativas para la prevención, manejo y combate de los incendios y por la otra el desarrollo de métodos para la evaluación de los daños actuales y potenciales causados por los incendios. Pero además, y posiblemente más importante, contribuyen al diseño de estrategias adecuadas para la recuperación de los ecosistemas dañados por el fuego. En esta dirección apunta la estimación de los daños potenciales y la condición de peligro en los procesos de recuperación, basados en la evaluación de la intensidad y severidad de los incendios (Keeley, 2009). Desde un punto de vista ecológico, el estudio del comportamiento del fuego en paisajes con permanentes perturbaciones relacionadas a los incendios forestales, ayudan a entender la dinámica de respuesta de la vegetación, por ejemplo en ecosistemas mediterráneos (Pausas *et al.*, 2008), como también en el entendimiento de los daños y efectos a distintas escalas de análisis (Keeley *et al.*, 2008). Los estudios de conducta del fuego tienen varios antecedentes en Chile (Julio 2007; Castillo *et al.*, 2012; Fernández *et al.*, 2010) así como en otras regiones mediterráneas del mundo. Los resultados muestran las relaciones entre las características de la vegetación, el clima y el cambio climático y la conducta del fuego (intensidad, severidad) y las implicaciones para la recuperación (Săglam *et al.*, 2008, en Turquía; De Luis *et al.*, 2004, en España; Litell *et al.*, 2010, en USA, entre otros).

Los incendios ocurridos en 2017

La propagación de los grandes incendios forestales que afectaron a la región central del país, comprometieron el patrimonio forestal de tres regiones (fig. 3). La ocurrencia casi simultánea de tres eventos críticos, conformaron un escenario de comportamiento extremo del fuego, promovido principalmente por el efecto aditivo de los factores climáticos, y de continuidad y carga de combustible forestal.

Métodos aplicados para el análisis de severidad

La severidad de un incendio forestal es un término descriptivo que integra los cambios físicos, químicos y biológicos ocurridos en un lugar como consecuencia del fuego (White *et al.*, 1996). Dicho de una manera más simple, corresponde a la caracterización de los daños en el ambiente, en sus componentes bióticos y abióticos. En el contexto de ecosistemas mediterráneos, existen estudios

que tipifican este concepto mediante la definición de escalas de afectaciones, tal como lo plantean Castillo *et al.*, (2014) para ecosistemas de bosque esclerófilo en Chile Central, o Keeley *et al.*, (2008) en el estudio de matorrales mediterráneos en California. En cualquiera de los casos, las diferencias observadas en severidad están íntimamente relacionadas con el impacto causado por la cantidad de calor desprendida. El análisis de la severidad resulta de interés por varios motivos: para la generación de una cartografía evaluativa post-incendio, con el propósito de orientar las labores de restauración, extracción de madera, seguimiento en la regeneración y protección del suelo frente a la erosión, entre otras acciones. También la evaluación de la severidad proporciona valiosa información para la construcción de modelos probabilísticos de simulación de incendios a base del estudio de las relaciones existentes entre severidad y parámetros ambientales (Kushla y Ripple, 1997).

En este mismo contexto de la severidad, puede ser evaluada mediante indicadores de campo, pero también por métodos indirectos (últimamente los más desarrollados y utilizados), a través de los sensores remotos. De esta manera, los efectos del fuego tales como pérdida de biomasa forestal, los fenómenos de calcinación del terreno, alteraciones del color de la vegetación y suelo, y otras alteraciones posibles de identificar a distintas escalas, pueden ser identificadas mediante distintos productos satelitales, aun cuando es necesario tomar ciertos resguardos respecto a la calidad de los datos a interpretar y los factores de corrección atmosférica y geométrica de las imágenes que deben ser considerados para asegurar la mejor calidad en los datos adquiridos, dependiendo de la naturaleza del sensor (White *et al.*, 1996), y que influyen directamente en la calidad de los datos. En este contexto se ha realizado un análisis de severidad apoyando las labores de post análisis, entregando soporte a la restauración, monitoreo y seguimiento de los incendios forestales de magnitud en Chile. Para el desarrollo de esta tarea, y en el contexto de los sensores remotos, se han definido técnicamente los conceptos de severidad e índice normalizado, para posteriormente efectuar los cálculos para cada uno de los tres mega-incendios forestales, indicados en la fig. 3.

a) Severidad del incendio (Burn Severity): Evaluación cualitativa del pulso de calor dirigido hacia el suelo durante un incendio. La severidad del incendio relaciona el calor del suelo (calentamiento), el consumo de combustibles gruesos y mantillo, consumo de la hojarasca y capa orgánica bajo los árboles y matorrales aislados, y mortalidad de partes enterradas de las plantas. Fuente: National Wildfire Coordination Group (2008) Glossary of Wildland Fire Terminology. El grado en que un sitio ha sido alterado perturbado por el fuego, en líneas generales un producto de la intensidad del fuego y el tiempo de residencia.

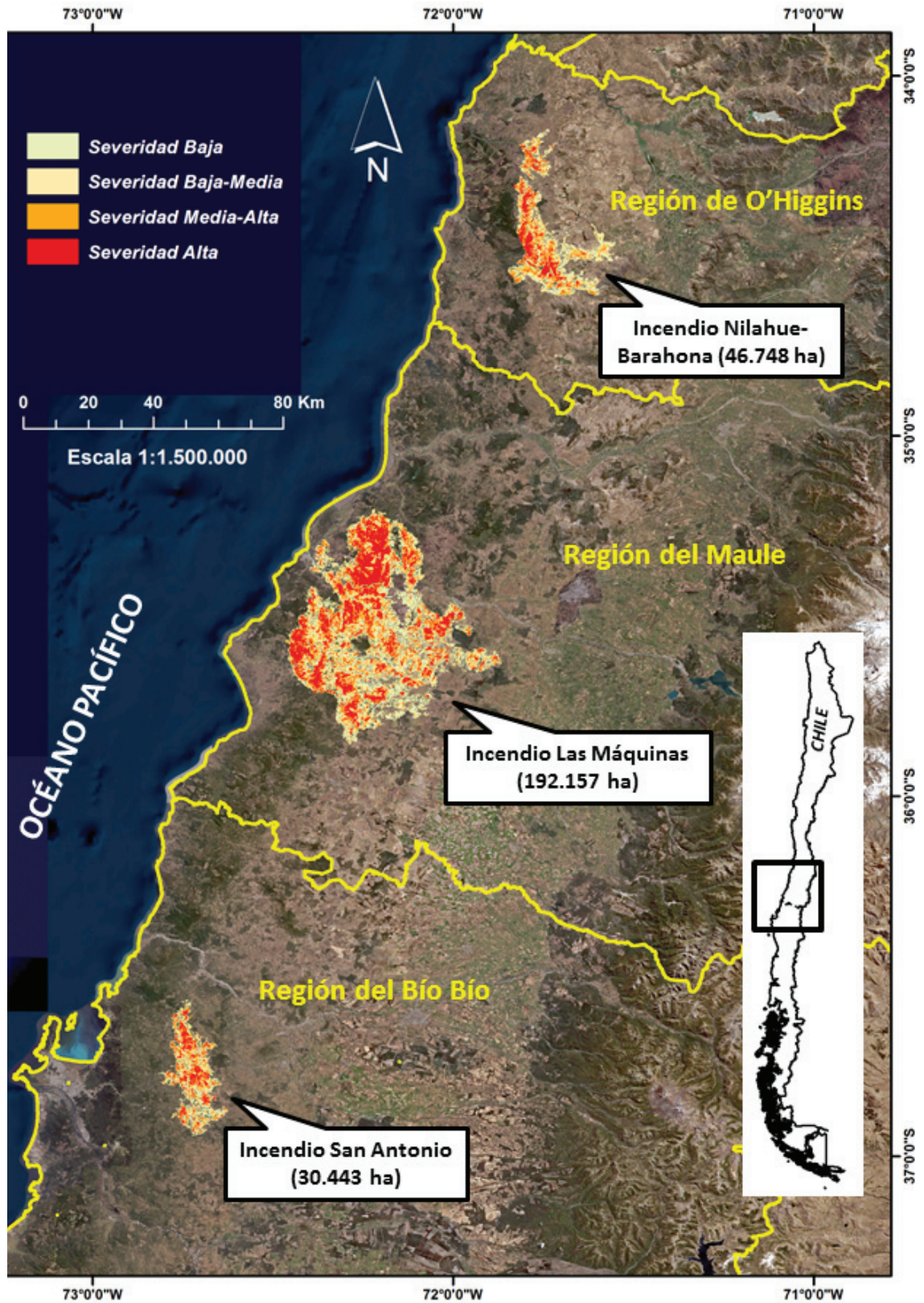


Fig. 3 - Detalle de los tres grandes incendios forestales que afectaron a Chile en la temporada 2017 (Fuentes: Conaf - Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Chile).

Fig. 3 - Detailed representation of the three main wildfires that occurred in Chile in 2017 (Sources: Conaf and Wildfire Laboratory, University of Chile).

- b) Índice Normalizado de Quema (NBR): es un índice que enfatiza la respuesta espectral de la vegetación afectada por el fuego mediante el uso de las bandas Landsat TM/ETM (infrarrojo cercano e infrarrojo medio), con el fin de proveer el mejor contraste entre salud fotosintética y la vegetación quemada. El NBR se calcula para la escena pre-incendio y post-incendio mediante la siguiente ecuación:

$$NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$
, donde NIR es la banda del infrarrojo cercano, y SWIR en el infrarrojo medio.

Cuanto más próximas se encuentran las firmas espectrales menor severidad. Cuanto mayor sean las diferencias entre las firmas mayor destrucción vegetal existirá y, por tanto, es posible obtener un mayor grado de severidad de incendios durante los análisis. A medida que el territorio se recupera los niveles de reflectividad de la banda NIR ascenderán mientras comenzará una mayor absorción en el SWIR.

- c) Diferencial del Índice Normalizado de Quema (dNBR): Un diferencial de imagen NBR, o imagen de cambio, creado donde el NBR post-incendio es sustraído desde el NBR pre-incendio. El dNBR puede ser usado para discriminar áreas quemadas de las no quemadas e identificar clases de severidad de quema de la vegetación.

El dNBR es calculado como: $dNBR = NBR_{pre-incendio} - NBR_{post-incendio}$.

De esta manera en el proceso de cálculo, el análisis de la severidad de un incendio se obtiene de la diferencia (resta) del Índice Normalizado de Quema (dNBR). Este ofrece una medida cuantitativa del cambio medioambiental producido por el incendio, o diferencia temporal (Key and Benson, 1999; Key and Benson, 2004). El dNBR representa un índice escalado de la magnitud del cambio causado por el fuego (Eidenshink *et al.*, 2007; van Wagtenonk *et al.*, 2004).

Para el caso de los incendios acá estudiados, se consideraron los umbrales de dNBR determinados por diversos autores para casos de ecosistemas mediterráneos afectados por incendios. La severidad en este indicador

es clasificada por Key y Benson (2006), en el análisis post-incendio en paisajes vegetales con recurrencia de incendios. El producto satelital utilizado es Landsat TM/ETM+, con previas correcciones geométricas y atmosféricas, dando como resultado una clasificación de referencia, indicada en la TABLA I.

TABLA I - Clasificación utilizada para rangos de severidad basado en dNBR.

TABLE I - Classification used for severity ranges based on dNBR.

Rango	Categoría
-0.1 a 0.1	No quemado
0.1 a 0.27	Severidad baja
0.27 a 0.44	Severidad moderada a baja
0.44 a 0.66	Severidad moderada a alta
> 0.66	Severidad alta

Referencia/Sorce: Key & Benson, 2006.

Resultados

En consideración a los datos obtenidos para las superficies afectadas, y la disponibilidad de información satelital para el cálculo de la severidad, fue posible determinar la severidad clasificada para los tres principales incendios forestales ocurrido en 2017 en Chile (fig. 4). En esta estadística, se consideraron las cuatro categorías que representan las frecuencias más altas de daños, tomando para ello el indicador dNBR. Los resultados se muestran en la TABLA II.

En los tres incendios analizados, el 100 % de superficie se alcanza contabilizando las áreas no quemadas al interior de los perímetros identificados en el análisis satelital.

Las afectaciones de las categorías más altas se concentran principalmente en formaciones de bosque y matorral denso y semidenso, con formaciones de especies nativas del área mediterránea, seguidos de mezclas de matorrales y plantaciones. Se trata de ecosistemas que dan fuente de trabajo a miles de personas en el ámbito forestal y agroganadero. Los efectos de los incendios fueron variados, concentrándose no precisamente en la pérdida de superficie arbolada, sino más bien en el deterioro del paisaje vegetal, efectos en el suelo, cuencas hidrográficas,

TABLA II - Resumen de los valores de severidad para cada incendio evaluado. Enero de 2017. Chile.

TABLE II - Summary of severity values for each wildfire analyzed. January 2017. Chile.

Nombre incendio	Superficie (ha)	Severidad (%)			
		Baja	Moderada a Baja	Moderada a Alta	Alta
Nilahue-Barahona	46.748	23,7	24,4	21,8	17,4
Las Máquinas	192.157	21,3	20,3	18,4	22,5
San Antonio	30.443	23,0	24,5	22,0	18,7
Totales	269.348	68,0	69,2	62,2	58,6

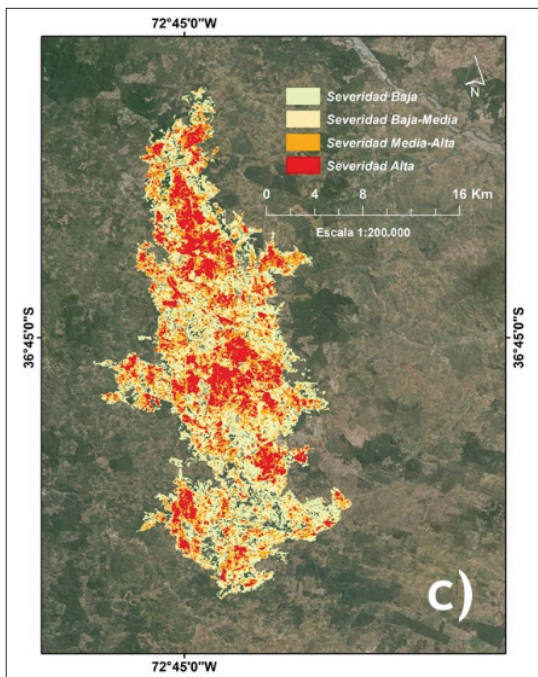
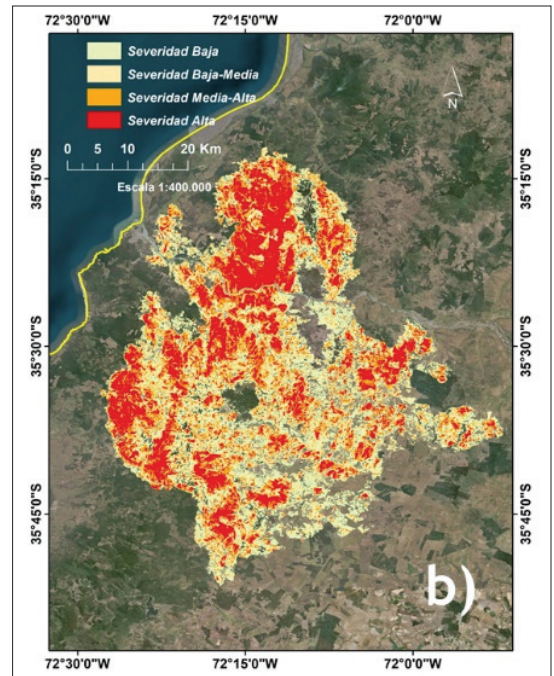
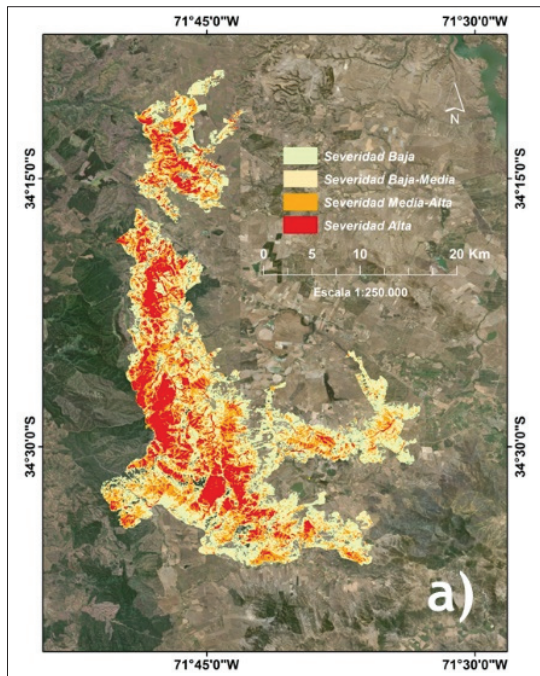


Fig. 4 - Mapas de severidad para
 a) Nilahue-Barahona,
 b) Las Máquinas,
 c) San Antonio
 (Fuentes: Conaf - Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Chile).

Fig. 4 - Severity maps for
 a) Nilahue-Barahona,
 b) Las Máquinas,
 c) San Antonio
 (Sources: Conaf and Wildfire Laboratory, University of Chile).

desabastecimiento industrial y daños a la población de diversas especies de aves, mamíferos e insectos. Uno de los ecosistemas mayormente afectados por el paso del fuego corresponde al bosque de ruil (*Nothofagus alessandrii*), el cual fue estudiado por Valencia *et al.* (2018), posterior al incendio de Las Máquinas (Región del Maule en Chile Central), también mediante el empleo de dNBR basado en imágenes Landsat. Utilizando también la escala de Key y Benson (2006), se consideraron 10 puntos de muestreo, en donde la severidad se concentra preferentemente en categoría ‘alta’, con 29,6 % total de

afectación, respecto al área total estudiada. Ello lleva como consecuencia severos efectos sobre la sobrevivencia de poblaciones adultas de ruil, aun cuando se trata de una especie que forma extensos renovales asociados a la presencia de disturbios como el fuego.

Discusión

Los rangos aplicados al cálculo de la severidad post-fuego, pueden tener variantes, dependiendo del tipo de ecosistema estudiado, la intensidad y extensión del

incendio, la temporada o factor estacional, y en el caso de las aplicaciones basadas en teledetección, por la disponibilidad de imágenes cercanas a la fecha del disturbio (Díaz-Delgado, 1999). Por ejemplo, Santos *et al.*, (2017), utilizan imágenes NOAA y MODIS (Aqua/Terra), para detectar focos de calor en un área de Parque Nacional en Brasil, aportando antecedentes respecto a las consecuencias de los incendios, expresados posteriormente en una cartografía de severidad. Por ello, los umbrales de severidad pueden ser planteados mediante la definición de otros rangos. Mediante el uso de otros productos satelitales, los límites de 1,25 y 2,25 son comúnmente usados (e.g. Soverel *et al.*, 2010; Cansler y McKenzie, 2012), mientras que no existe un consenso para el límite que separa las zonas sin quemar de las afectadas por baja severidad. Por ejemplo, Miller y Thode (2007) utilizan 0,1 y Picotte y Robertson (2011) utilizan 0,75. En este caso se usaron las marcas de clase de los rangos no quemado y bajo de la clasificación de Key y Benson (2006).

En cuanto al sentido que posee este artículo en cuanto a la clasificación de la severidad, corresponde a una cuantificación de los efectos a gran escala que produce la propagación descontrolada del fuego, y que en muchos casos compromete una diversidad de bienes y servicios ambientales que impactan directamente a la población, a las instituciones de protección, y que además colocan de manifiesto la necesidad de establecer mejores prácticas preventivas para la prevención del peligro de incendios forestales.

La severidad de los incendios en el contexto de Chile

A raíz de los extensos y severos daños ocasionados por la pasada temporada de incendios forestales 2016-2017, se vio en evidencia la necesidad de efectuar una profunda revisión de sus planes, protocolos, programas y aspectos legislativos relacionados a la gestión en manejo del fuego, porque claramente existen tareas pendientes, y que por áreas temáticas resultan inabordables todas al mismo tiempo, lo que implica la necesidad de plantear prioridades y aportar con ello al fortalecimiento del esquema político e institucional al servicio de la protección de los recursos forestales. Se describen a continuación algunos de estos ejes o líneas prioritarias, sobre las cuales el Gobierno de Chile, a través del Ministerio de Agricultura, se encuentra desarrollando nuevas estrategias pensando en la temporada de incendios 2018-2019.

a) Silvicultura preventiva: La propagación del fuego en ambientes rurales requiere el establecimiento de normas sobre distanciamientos en cortafuegos y cortacombustibles, dependiendo del área a proteger. En las áreas de interfaz urbano-forestal de Chile, los últimos incendios ocurridos en

2017 evidenciaron la falta de medidas silvícolas asociadas al manejo del combustible en áreas cercanas a edificaciones y viviendas, como también en la disponibilidad de biomasa en bosques y plantaciones, como factor de peligro potencial para la propagación de los incendios. Por lo anterior, en Chile se han constituido grupos de trabajo para proponer estándares en el ancho de fajas libres de combustibles, para aminorar de esa forma la intensidad o calor radiante de las llamas. Una primera propuesta elaborada para zonas de interfaz con predominio de pastizales, plantea un ancho mínimo de 10 metros y 20 en presencia de arbustos y arbolado, mientras que hacia el interior de los bosques, la recomendación es realizar silvicultura preventiva hasta una distancia de 80 metros luego de la faja de cortafuegos y cortacombustibles. En el caso del comportamiento del fuego en superficie existen modelos matemáticos que permiten recrear el avance en propagación libre; sin embargo, existen escasos antecedentes respecto al avance por copas, especialmente en incendios de muy alta intensidad, lo cual no permite aún proponer modelos matemáticos que se adecúen a las condiciones de bosques en Chile Central.

b) Modelación de combustibles: Chile cuenta con una cartografía de modelos de combustibles que agrupa la vegetación en cinco categorías: Pastizales, Matorrales, Arbolado Nativo, Plantaciones Forestales, y otros tipos de combustibles susceptibles de ser considerados en propagación de incendios forestales. Estas categorías permiten la definición de 34 tipos de combustibles que definen y representan la cobertura forestal en Chile (Castillo *et al.*, 2013), no obstante, existen otros modelos intermedios que son necesarios estudiar y que están asociados a mezclas entre plantaciones y bosques, y también en la caracterización de la vegetación en zonas de interfaz urbano-forestal. Esta modelación permite, entre otros beneficios, disponer de una base cartográfica actualizada para el desarrollo e implementación del simulador de incendios forestales, desarrollado en Chile desde el año 1993, y que ha permitido respaldar importantes programas de prevención a lo largo del país, junto con disponer de una base científica basada en el estudio del comportamiento del fuego en distintas situaciones de bosques, basado en el conocimiento de las propiedades físicas, del potencial de propagación del fuego en cada tipo de vegetación, y la resistencia al control del fuego mediante el empleo de herramientas manuales para la construcción de líneas de contención. Actualmente, esta modelación necesita ser revisada nuevamente, para ampliar la gama de situaciones vegetacionales presente en Chile, y con

ello, perfeccionar las tablas de coeficientes técnicos que permiten modelar el avance del fuego en distintas situaciones de peligro de incendios (Castillo *et al.*, 2016).

- c) Grado de Peligro: Las condiciones meteorológicas extremas de temperatura, humedad relativa y la velocidad del viento, ocasionan entre otros efectos, una disminución en la humedad de los combustibles forestales y que en consecuencia, producen un aumento en el nivel de peligro para la propagación del fuego. En Chile, estas condiciones han sido cada vez más extremas por la prolongada sequía y la acumulación de biomasa seca generada por rebrotes de renuevos en períodos de invierno. Se suma además la escasez de medidas efectivas para el control del peligro mediante silvicultura preventiva, lo que ha ocasionado adicionalmente que el potencial de propagación siga en aumento, especialmente en aquellas áreas de alta continuidad de plantaciones y también en zonas de interfaz urbano-forestal. El grado de peligro en Chile, se concibe como la combinación de factores fijos y variables, que condicionan la condición de riesgo potencial de incendios y además el escenario de propagación que tendrá el fuego bajo condiciones meteorológicas, topográficas y de las características de la vegetación. Actualmente este tipo de sistema de pronóstico se lleva a cabo mediante el Índice de Grado de Peligro, que contempla macro-regiones en Chile para la determinación de la ocurrencia potencial (Castillo, 2015). Esta línea de investigación necesita mayor desarrollo, integrando aspectos relacionado a la teledetección y el análisis de series temporales que involucren antecedentes climáticos más detallados que den cuenta de la susceptibilidad de la vegetación a la ignición e inflamabilidad. Actualmente el Grado de Peligro en Chile se sustenta en las ecuaciones de índice de riesgo de incendios forestales, cuya operación sigue estando vigente para todas las regiones de Chile.
- d) Comportamiento del fuego: Conceptualmente corresponde al conjunto de efectos de carácter físico y mecánico que se observan en el ambiente afectado por la propagación del fuego en ambientes rurales (Castillo *et al.*, 2016). Esta definición, no necesariamente representa el consenso de autores en comportamiento del fuego, pero incluye los principales procesos propios de la propagación del fuego, y cuyas características de desarrollo dependen de las variables (longitud de llama, intensidad calórica, efecto scorch), y los factores ambientales (pendiente, exposición, las propiedades físico-químicas y estructurales de la vegetación combustible, contenido de humedad de los tejidos vegetales, y el viento). En todos estos componentes el fuego se propaga dependiendo de las condiciones favorables para el crecimiento de un incendio. En condiciones de extrema sequía, acumulación de vegetación (carga), baja humedad del aire y altas temperaturas, el fuego puede desarrollar un comportamiento extremo. El Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Chile ha determinado valores medios de propagación superficial del fuego en condiciones mediterráneas normales en un año promedio, en torno a 3,2 ha/hora (Castillo y Rodríguez y Silva, 2015a). Este valor ha sido determinado mediante las expresiones matemáticas del sistema chileno KITRAL, diseñado y adaptado para las condiciones de este país. El conocimiento de la tasa de propagación del fuego en distintas condiciones ambientales, proporcionan pautas para la determinación de tiempos de respuesta frente al combate de los incendios, tal como se ha estudiado en distintas situaciones de propagación en ambientes mediterráneos (Castillo y Rodríguez y Silva, 2015b). No obstante, en un escenario de comportamiento extremo, especialmente en los últimos mega incendios forestales ocurridos en 2017, los valores de propagación y la intensidad de los frentes de avance, reportaron valores muy superiores a los valores que normalmente se desarrollan en comportamiento extremo. Lo anterior lleva entonces a la necesidad de replantear nuevos escenarios en modelación de la propagación, bajo un escenario de extremo peligro de incendios forestales. En Chile, este aumento en la condición de peligro ha ocasionado un alza significativa en la cantidad de superficie afectada, aun cuando la cantidad de incendios sólo ha experimentado una leve alza en los últimos 5-10 años.
- e) Ecología del fuego y restauración: Corresponde a un área del conocimiento en manejo del fuego, que ha experimentado avances importantes basados en la experiencia acumulada, principalmente en incendios en bosque nativo. Sin embargo, existen líneas de desarrollo aún poco exploradas en este campo, relacionadas principalmente con la condición del suelo post-incendio y con la aplicación más precisa de indicadores de severidad a escala local. Particularmente en Chile, la mayor proporción del daño en incendios se concentra en la región centro-sur, donde coexiste el bosque nativo esclerófilo con otras formaciones vegetales, entre ellas las plantaciones con especies exóticas destinadas a la producción forestal. En todos estos casos, las iniciativas en restauración ecológica se han concentrado preferentemente en acciones de tipo físicas sobre el suelo y en la plantación asis-

tida para recuperar sectores calcinados. No obstante existe un área de desarrollo todavía débil, y que corresponde a la siembra directa y protección inmediata al suelo calcinado mediante hidrosiembra, mulch y trabajo localizado mediante una evaluación sectorizada y detallada de la severidad en el sustrato superficial. Dada la extensa superficie afectada por los últimos incendios, actualmente existen en Chile numerosas cuencas hidrográficas que poseen alto riesgo de aluviones por la carencia de una superficie vegetal inicial que permita amortiguar el efecto de la escorrentía producto de las lluvias. Esto es materia de investigación, en donde se necesita la experiencia de nuevos proyectos en el área de restauración ecológica.

Comentarios finales

Chile se enfrenta a un nuevo escenario de peligro de incendios forestales, bajo la necesidad de ampliar la investigación en distintas áreas del manejo del fuego. Una revisión de los últimos episodios de fuegos indican la urgencia de establecer protocolos de manejo de la vegetación basados en la silvicultura preventiva que permitan disminuir la carga de combustible y con ello atenuar el efecto potencial de la propagación del fuego, especialmente en zonas de alta continuidad de vegetación. Paralelamente es necesario avanzar en la modelación de tipos de vegetación combustibles, que permitan el mejor funcionamiento de los modelos de pronóstico de incendios forestales. Adicionalmente se instala la necesidad de proponer nuevos estándares de cortafuegos y corta-combustibles, no sólo al interior de los bosques sino también en zonas de interfaz urbano-forestal. No obstante existen estándares propuestos en esta materia, no están respaldados por estudios confiables que propongan cifras específicas para cada condición de bosque. En este sentido, la nueva Ley de Incendios Forestales que se desea promulgar prontamente en Chile, deberá indicar con total claridad los estándares técnicos por los cuales será necesario efectuar intervenciones silvícolas a los bosques, de manera de poder disminuir la condición de peligro frente a la propagación del fuego.

Agradecimientos

A la Sección Análisis y Predicción Departamento de Control de Incendios Forestales Gerencia de Protección contra Incendios Forestales de la Corporación Nacional Forestal de Chile, por proporcionar los antecedentes base para los análisis satelitales y generación de resultados, y al Proyecto CONAF 008/2016 por proporcionar antecedentes locales sobre afectaciones en bosque nativo, que ayudaron a complementar los análisis acá descritos.

Bibliografía

- Bowman, D., Moreira, A., Kolden, C., Chávez, R., Muñoz, A., Salinas, F., González, A., Rocco, R., de la Barra, F., Williamson, G., Borchers, N., Cifuentes, L., Abatzoglou, J., Johnston, F. (2018). Human-environmental drivers and impacts of the globally extreme 2017 Chilean fires. *Ambio*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1084-1>
- Cansler, A., McKenzie, D. (2012). Climate, fire size, and biophysical setting control fire severity and spatial pattern in the northern Cascade Range, USA. *Ecological Applications*, 24(5), 2014, 1037-1056.
- Castillo, M., Molina, J-R., Rodríguez y Silva, F., García-Chevesich, P., Garfias, R. (2016). A system to evaluate fire impacts from simulated fire behavior in Mediterranean areas of Central Chile. *Science of the Total Environment*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.139>
- Castillo, M. (2015). Diagnosis of Forest Fires in Chile. In: *Wildland Fires - A worldwide reality*. Book. Elsevier, 211-224. Nova Publishers.
- Castillo, M., Rodríguez y Silva, F. (2015a). Quantitative analysis of forest fire extinction efficiency. *Forest Systems* 24(2). 032. 9p (electronic version). DOI: <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2015242-06644>
- Castillo, M., Rodríguez y Silva, F. (2015b). Determining response times for the deployment of terrestrial resources for fighting forest fires. A case study: Mediterranean - Chile. *Ciencia e Investigación Agraria* 42(1): 97-107.
- Castillo, M., Julio, G., Garfias, R. (2014). Current status of risk and prognosis of forest fires in Chile. Progress and future challenges. *Wildfire Hazards and Disasters*. Book. Elsevier Inc. Chapter 4. 59-75.
- Castillo, M., Molina, J-R., Rodríguez y Silva, F., Julio, G. (2013). Fire vulnerability model in Mediterranean ecosystems of South America. *Ecological Informatics* 13, 106-113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2012.06.004>
- Castillo, M., Garfias, R., Julio, G., González, L. (2012). Análisis de grandes incendios forestales en la vegetación nativa de Chile. *Interiencia* 37: 796-804.
- Costafreda-Aumedes, S., Comas, C., Vega-García, C. (2017). Human-caused fire occurrence modelling in perspective: a review. *International Journal of Wildland Fire* 26, 983-998.
- De Luis, M., Baeza, M., Raventos, J., Hidalgo, J. (2004). Fuel characteristics and fire behaviour in mature Mediterranean gorse shrublands. *International Journal of Wildland Fire* 13: 79-87.

- Díaz-Delgado, X. (1999). Empleo de imágenes de teledetección para el análisis de los niveles de severidad causados por el fuego. Teledetección, avances y aplicaciones. *VIII Congreso Nacional de Teledetección*. Albacete, España, 1999, 252-255.
- Eidenshink, J., Schwind, B., Brewer, K., Zhu, Z. (2007). A project for monitoring trends in burn severity. *Fire Ecology* 3(1): 3-21.
- Fernández, I., Morales, N., Olivares, L., Salvatierra, J., Gómez, M., Montenegro, G. (2010). *Restauración Ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Pontificia Universidad Católica de Chile y Corporación Nacional Forestal. 162 p.
- Ferreira-Leite, F., Ganho, N., Bento-Gonçalves, A., Botelho, F. (2017). Iberian atmospheric dynamics and large forest fires in mainland Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology* 247: 551-559.
- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Nunes, A., Lourenço, L. (2016). Incidence and recurrence of large forest fires in mainland Portugal. *Natural Hazards* 84(2): 1035-1053.
- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., da Vinha, L. (2015). Mega-Fires Around The World: A Literature Review In: *Wildland Fires: A Worldwide Reality* Edited by: António José Bento Gonçalves and António Avelino Batista Vieira, 15-34, Hauppauge New York: Nova Science Publishers ISBN:978-1-63483-397-4.
- Franca Rocha, W., Moura, S., dos Santos, B., Bento-Gonçalves, A., Ferreira-Leite, F. (2017). Are There Mega Fires in Brazilian Savannas?. The National Park of Chapada Diamantina Case (Bahia, Brazil) In: *Wildfires: Perspectives, Issues and Challenges of the 21st Century* Edited by: António José Bento Gonçalves, António Avelino Batista Vieira, Maria Rosário Melo Costa, and José Tadeu Marques Aranha, 29-54, Hauppauge New York: Nova Science Publishers ISBN:978-1-53612-890-1.
- Gajardo, R. (1994). *La vegetación natural de Chile: clasificación y distribución geográfica*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 165 p.
- García-Chevesich, P., Pizarro, R., Stropki, C., Ramírez de Arellano, P., Folliott, P., DeBano, L., Neary, D., Slack, D. (2010). Formation of post-fire water-repellent layers in Monterrey pine (*Pinus radiata* D. Don) plantations in South-Central Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10, 399-406.
- Garfías, R., Castillo, M., Ruiz, F., Vita, A., Bown, H., Navarro, R. (2018). Remanentes del bosque esclerófilo en la zona mediterránea de Chile Central: caracterización y distribución de fragmentos. *Interciencia*, 43(9): 655-663.
- Julio, G. (2007). *Formulación de Lineamientos Políticos y Estratégicos para la Protección contra Incendios Forestales en Chile*. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba, España. 341 p.
- Keeley, J. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire* 18, 116-126.
- Keeley, J., Brennan, T., Pfaff, A. (2008). Fire severity and ecosystem responses following crown fires in California shrublands. *Ecological Applications* 18, 1530-1546.
- Key, C., Benson, N. (1999). The normalized burn ratio (NBR): A Landsat TM radiometric measure of burn severity. US Geological Survey Northern Rocky Mountain Science Center. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Northern Rocky Mountain Science Center.
- Key, C.H. and N.C. Benson, (2006). Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index, and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. In D.C. Lutes, R.E. Keane, J.F. Caratti, C.H. Key, N.C. Benson, S. Sutherland, and L.J. Gangi. 2006. *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD: LA1-51.
- Key, C.H., and Benson, N.C. (2004). Remote Sensing Measure of Severity: The Normalized Burn Ratio. In *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*, D. C. Lutes, R. E. Keane, J. F. Caratti, C.
- Kushla, J., Ripple, W. (1997). The role of terrain in a fire mosaic of a temperate coniferous forest. *Forest Ecology and Management*. Volume 95, Issue 2, 97-107. ISSN 0378-1127.
- H. Key, N. C. Benson, & L. J. Gangi (eds), Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, p. LA1-16.
- Littell, J.S., Oneil, E.E., McKenzie, D. (2010). Forest ecosystems, disturbance, and climatic change in Washington State, USA. *Climatic Change* 102: 129-158.
- Miller, J., Thode, A. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment* 109: 66-80.
- NWCG (2008). *Introduction to Wildland Fire Behavior*. Training Development Program - National Interagency Fire Center - 3833 S. Development Avenue, Boise, Idaho 83705, 62 p.

- Pausas J., Llovet J., Rodrigo A., Vallejo, R. (2008). Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? - A review. *International Journal of Wildland Fire* 17, 713-723.
- Picotte, J., Robertson, K. (2011). Timing Constraints on Remote Sensing of Wildland Fire Burned Area in the Southeastern US. *Remote Sensing* 3, 1680-1690.
- Quintanilla, V. (1999). Modificaciones por efecto del fuego en el bosque esclerófilo de quebradas húmedas de Chile Central y su incidencia en la Palma chilena. *Terra Australis* 44: 7-18.
- Roldán-Zamarrón, A., Merino de Miguel, S., González, F., García, S., Cuevas, J. (2006). Minas de Riotinto (South Spain) forest fire: Burned area assessment and fire severity mapping using Landsat 5-TM, Envisat-MERIS, and Terra-Modis post-fire images. *Journal of Geophysical Research - Biogeosciences* 111, G04S11. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JG000136>
- Sağlam, B., Omer, K., Ertügrül, B., Bahar, D., Ismail, B. (2008). Estimating Fuel Biomass of Some Shrub Species (Maquis) in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 32: 349-356.
- Santos, S., Franca-Rocha, W., Bento-Gonçalves, A., Baptista, G. (2017). Quantificação e avaliação dos focos de calor no parque nacional da chapada diamantina e entorno no período de 2007 a 2016. *Revista Brasileira de Cartografia* 69(4): 701-712.
- Soverel, N., Perrakis, D., Coops, N. (2010). Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada. *Remote Sensing of Environment* 114, 1896-1909.
- Valencia, D., Saavedra, J., Brull, J., Santelices, R. (2018). Severidad del daño causado por los incendios forestales en los bosques remanentes de *Nothofagus alessandrii* Espinosa en la Región del Maule de Chile. *Gayana Bot.* 75(1): 531-534. Comunicación breve.
- Van Wagtendonk, J., Root, R., Key, C. (2004). Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ detection capabilities for burn severity. *Remote Sensing of Environment* 92, 397-408.
- White, J., Ryan, K., Key, C., Running, S. (1996). Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery. *International Journal of Wildland Fire* 6, 125-136.



RISCOS



EVOLVING FIRE MANAGEMENT STRATEGIES AND THEIR IMPACT ON THE OCCURRENCE AND SPATIAL EXTENT OF UNPLANNED WILDFIRES IN A LARGE AFRICAN SAVANNA PARK*

EVOLUÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DE INCÊNDIOS E SEU IMPACTE NA OCORRÊNCIA E EXTENSÃO ESPACIAL DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS ACIDENTAIS NUM GRANDE PARQUE DA SAVANA AFRICANA

Tercia Strydom

Scientific Services, South African National Parks (South Africa)
ORCID 0000-0002-9077-9446 tercia.strydom@sanparks.org

Stephen A. Midzi

Conservation Management, South African National Parks (South Africa)
ORCID 0000-0002-5028-9362 stephen.midzi@sanparks.org

ABSTRACT

Savannas cover approximately 20 % of the global land surface. In African savannas, fire is an important agent for controlling these ecosystems. Kruger National Park (KNP) is a large African savanna park which has implemented a variety of fire management strategies over the years. Using KNP's recorded fire history (from 1941-2017), we examined the occurrence and spatial extent of accidental wildfires in KNP in relation to adaptations in the fire management strategies over time. From 1941 to 2017 fires were a regular, almost annual occurrence in KNP. However, fuel loads accumulate over time when fires are extinguished or controlled burning in these landscapes is prevented, and the result is a substantial amount of combustible material to support large unplanned wildfires. Therefore, fire management strategies influence the occurrence and spatial extent of unplanned wildfires in African savannas. Prescribed burning is a critical management tool which should be used in fire-prone landscapes, however, research is needed to determine the appropriate fire regime needed to manage a fire-driven system.

Keywords: Accidental wildfires, anthropogenic fires, fire history.

RESUMO

As savanas cobrem aproximadamente 20 % da superfície terrestre global. Nas savanas africanas, o fogo é um importante agente que controla esses ecossistemas. O Parque Nacional Kruger (KNP) é um grande parque da savana africana que implementou uma variedade de estratégias de manejo de fogo ao longo do tempo. Usando o histórico de incêndios registado do KNP (durante 1941-2017), examinamos a ocorrência e a extensão espacial dos incêndios não programados no KNP em relação às adaptações das estratégias de manejo do fogo ao longo do tempo. Durante 1941-2017, os incêndios foram uma ocorrência regular quase anual no PNK. No entanto, as cargas de combustível acumulam-se ao longo do tempo, devido à extinção dos incêndios ou evitando a queima controlada nestas paisagens, e resultam em material combustível suficiente para suportar grandes incêndios não programados. Portanto, as estratégias de manejo do fogo influenciam a ocorrência e a extensão espacial dos incêndios não programados nas savanas africanas. A queima prescrita é uma ferramenta de gestão crítica que deve ser aplicada em paisagens propensas a incêndios, no entanto, são necessárias pesquisas para determinar o regime de fogo apropriado, necessário para gerir um sistema acionado por fogo.

Palavras-chave: Incêndios acidentais, incêndios antropogénicos, histórico de incêndios.

* O texto deste artigo foi submetido em 11-10-2018, sujeito a revisão por pares a 11-10-2018 e aceite para publicação em 24-12-2018.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 26 (I), 2019, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introduction

Nearly 20 % of the earth's land surface is covered by Savannas which are characterized by a balanced mix of woodland and grassland (Scholes & Archer, 1997; Sankaran, Ratnam, & Hanan, 2004). Savannas are found in South America, India and Australia whilst the largest proportion is found in Africa (van Wilgen, 2009). These dynamic systems support a large proportion of the world's human population along with their rangelands, livestock and wildlife (Scholes & Archer, 1997; Sankaran *et al.*, 2005). African savannas are driven by fluctuations in rainfall, herbivory, nutrients and fires (Walker & Noy-Meir, 1982; Sankaran *et al.*, 2005; Archibald & Hempson, 2016). The impact of these various drivers in controlling savanna ecosystem functioning and processes differs according to the persistence and frequency of the disturbance. Fire ignition sources in these African savannas are due to either human origins, whether accidentally or purposefully as arson, or natural origins through lightning (Archibald, Roy, Van Wilgen, & Scholes, 2009). Lightning fires are less common and often do not burn through large areas of woodland (Walter, 1971; Van Wilgen, Biggs, O'regan, & Mare, 2000).

Fire is an important agent in these African savannas where it has been part of this system for thousands of years (Scott, 1970). As such, the fauna and flora in these fire-prone ecosystems have co-evolved with fire and ultimately, resulted in a resilient fire-adapted system whereby savanna vegetation consists of many fire-adapted plant species (Bond & Keeley, 2005; Furley, Rees, Ryan, & Saiz, 2008). It is believed that, in South Africa, humans have been using and controlling fires to manipulate their environment for roughly 55 000 years (Smith, 2007). Humans would have learnt to use fires to manage their environments for agricultural purposes, to cycle soil nutrients and to control herbivore movements to facilitate easy hunting of wildlife (Whitlock, Colombaroli, Conedera & Tinner, 2018). As such, the presence of people in a large African savanna park like Kruger National Park (KNP) in South Africa, would have promoted the occurrence of fires in this fire-driven ecosystem. According to Scott (1970), early authors such as Kanthack (1907) and Thompson (1936) documented records of early Portuguese explorers who referred to the interior of South Africa as "Terra dos fumos", meaning the land of smoke and fire. This further confirms the large-scale occurrence of fires in this African landscape.

The Evolution of Fire Management in Kruger National Park (KNP)

Since the official proclamation of KNP in 1926, the first park Warden, Colonel James Stevenson-Hamilton, implemented a general ban on any deliberate burning

as he believed that fires had a detrimental impact of vegetation and wildlife (Pienaar, 2012). Roughly a decade later in 1935, the Parks Board had decided that fires should not be explicitly banned but rather controlled, and in 1937 Stevenson-Hamilton had suggested a burn policy whereby the bush would be burnt every second year to avoid the accumulation of moribund material (Joubert, 2007; Pienaar, 2012). In 1947, Stevenson-Hamilton had suggested that half the park should be burnt every year between February and April in order to promote low intensity fires while vegetation is still green, and that areas to be burnt will alternate between years. Due to the limited resources available during this period, most of these suggested policies were nearly impossible to implement as an official fire management strategy. In addition, there are scarce and limited records available on spatial extent and causes of fires during this time. Therefore, the period between 1926 and 1947 may be considered as a time in which KNP did not have a clear and, more importantly, an achievable strategy towards fire management. Notwithstanding, limited fires were still applied in order to provide improved grazing for animals (Van Wilgen *et al.*, 2000; Govender, Mutanga & Ntsala, 2012).

However, in the 1940s, philosophies on prescribed burning changed with the declaration of the Soil Conservation Act No. 45 of 1946 whereby the South African Government had promoted the establishment of Soil Conservation District Committees who would oversee soil conservation schemes enforced upon landowners (Rabie, 1974). One aspect of these soil conservation schemes was the prohibiting of prescribed burning which would have resulted in expropriation of land if landowners contravened this legislation (Rabie, 1974). These early ideas were based on the perceived negative effects of fires on land degradation and soil erosion, thus resulting in complete prohibition of prescribed burning in KNP during 1948-1956 known as the Fire Suppression or Protection Era (Trollope, 1984; van Wilgen, 2009). In 1950, KNP's second Park Warden, Colonel J.A.B. Sandenbergh declared that "*I am convinced that the past policy of burning has caused a change, for the worse, in our vegetation, and that this change has had a profound influence on the distribution and breeding rate of the wildlife in the Park. Deliberate burning in an area which must be kept natural, must cause an upset to any natural balance*" (Joubert, 2007). Colonel Sandenbergh's statement provides further insight into the philosophy of park management during that period whereby anthropogenic ignition sources were not considered as "natural" and part of the ecosystem. During the Fire Suppression period in the 1950s, a major programme aimed at grading a network of firebreaks across the park was initiated in order to gain control of wildfires (Joubert, 2007).

By the time, KNP management had adopted and implemented a Fixed Prescribed Burning strategy (1957-1980), the graded firebreak network resulted in more than 400 burn blocks ranging between 50 and 24 000 ha (Van Wilgen *et al.*, 2000). This prescribed burning strategy led to a fixed fire regime whereby fires were applied every three years in Spring (after the first rains) in each burn block (Brynard, 1971; Joubert, 2007; Govender *et al.*, 2012). In 1981, this rigid burning programme was declared unsuitable and adapted so as to allow for seasonal variation in the timing of prescribed burns, whilst retaining the three year block rotation (van Wilgen, Govender, Smit & MacFadyen, 2014). This fire management strategy lasted until 1990 and was known as the Flexible Prescribed Burning period. In 1991, park management had shifted their fire strategy towards a “Natural” Fire Policy (hereafter referred to as the Lightning Policy) which only allowed for lightning fires as it was deemed to be the only natural ignition source. Lightning fires were allowed to burn to their fullest extent and were no longer confined by burn blocks as the park decided to reduce the firebreak network (Van Wilgen, Govender, Biggs, Ntsala & Funda, 2004). Due to the substantial extent of area burnt per year during that period by all other ignition sources besides lightning, the fire management strategy was adapted once again in 2001 when management had realised the role of people in the landscape as an ignition source (Van Wilgen *et al.*, 2004; Govender *et al.*, 2012).

Between 2001 and 2011, an Integrated Fire Management Strategy was implemented which allowed for multiple ignition sources such as lightning, game rangers and migrants traversing the park from Mozambique into South Africa (Govender *et al.*, 2012). The amount to burn would be calculated based on preceding rainfall and subsequent fuel load accumulation (van Wilgen *et al.*, 2014). This strategy aimed at promoting variability by influencing fire intensities and spatial patterns whilst allowing for lightning-ignited fires and acknowledging the occurrence of inevitable wildfires. In 2012, the concept of Fire Management Zones (FMZ) was developed as part of the updated Integrated Fire Management Strategy (hereafter referred to as Integrated Fire Management - FMZ). These fire management zones were delineated based on the underlying geology, fire return period and mean annual rainfall (Smit, Smit, Govender, Linde & MacFadyen, 2013). These zones are used to describe regions of KNP where different fire strategies will be implemented to achieve specific ecological objectives based on ecological concerns which may be attributed to and/or exacerbated by certain fire regimes.

KNP has adapted its fire management strategy at least seven times since proclamation in 1926. This is evident of an adaptive management strategy which is consistently informed by the best available information and knowledge at the time.

Materials and Methods

Study Area

The study area is a large conservation area, known as Kruger National Park (KNP), situated in the north-eastern region of South Africa bordering Zimbabwe in the north and Mozambique on the east (fig. 1). The park was first proclaimed in 1926 and covers approximately 2 million hectares, making it the largest game reserve within South African borders. KNP is underlain by a variety of igneous, sedimentary and metamorphic geological formations (Venter, Scholes & Eckhardt, 2003). Geologically, the park is divided roughly into the granites on the west and basalts on the east, separated by a narrow north-south stretch of sedimentary rocks while a rhyolite band runs parallel on the eastern boundary of the park along the Mozambican border. The vegetation of KNP includes nearly 1 968 different plant species in a range of structural features varying from dense forest through to open plains with low shrubs (Venter & Gertenbach, 1986; Mabunda, Pienaar & Verhoef, 2003).

The regional climate is driven by anticyclonic systems travelling over southern Africa in a westerly direction (Venter & Gertenbach, 1986). Summers are wet and hot, with a daily average temperature of 34°C during November to February, whilst the winters are characterized by dry conditions with mild temperatures averaging at a maximum of 27°C during June to August



Fig. 1 - Location of Kruger National Park in South Africa.

Fig. 1 - Localização do Parque Nacional Kruger, na África do Sul.

(Kennedy & Potgieter, 2003). The southern and central regions of KNP receives a Mean Annual Rainfall (MAR) of 500-700 mm whilst the northern more arid parts of KNP receives 300 - 500 mm MAR (Venter *et al.*, 2003). The beginning of the rainy season is characterized by thunderstorms with extreme lightning events at the end of the dry season. KNP's distinct wet and dry periods provides a conducive environment with ideal conditions for fires to occur (Kennedy & Potgieter, 2003). The wet summer period allows for the accumulation of biomass and increases available fuel loads for dry winter fires. Besides fuel load, fuel moisture content and topography, certain weather conditions promote the spread of fires, i.e. temperature, relative humidity and wind speed.

Fire Records and Monitoring

KNP has a long history of fire records where fires have been monitored since 1941. According to van Wilgen *et al.* (2000), these fire records are likely the most extensive fire history available for any savanna ecosystem around the world. Although these earlier records were relatively crude hand-drawn maps of fire occurrence, they are still extremely valuable in providing estimates on fire location and spatial extent nearly eight decades ago. Park management and game rangers, who are responsible for designated regions of KNP and apply prescribed burns and/or suppress unplanned wildfires, were instrumental in developing these initial fire records. During 1941 and 1956, there were only eight rangers responsible for roughly 240 000 ha each, who produced these hand-drawn maps on an annual basis (Govender *et al.*, 2012). Since 1941-1947 coincided with the period where KNP had no official and feasible fire management strategy, it was not possible to distinguish all fire causes (ignition sources) during that period. During 1948 and 1956 when KNP adopted its Fire Suppression strategy, all fires were thus unplanned and actively suppressed. Unfortunately, no distinction was made in the fire records as to the occurrence and spatial extent of fires resulting from lightning events. After the implementation of the Fixed Prescribed Burning strategy, game rangers began recording additional information on fire cause which continues to be recorded to date. In light of more recent developments in fire monitoring around the world with the use of satellite imagery (e.g. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) instruments on board EOS-AM (Terra) and EOS-PM (Aqua) satellites), on-the-ground fire reports provided by game rangers are critical in validating fire detections derived from satellites. Often, smaller and/or low intensity fires are not detected by MODIS, which makes ranger reports very important to ensure our fire records are updated as accurately as possible. Furthermore, MODIS may detect false detections of fires due to stark differences in surface temperatures between a patch of bare

ground, e.g. a granitic outcrop, and surrounding green vegetation (Justice *et al.*, 2002; Schroeder *et al.*, 2008). Beyond those minor disadvantages, MODIS still provides some of the more reliable satellite imagery available to date, and with recent launches such as Sentinel-2 and -3, fire detection and monitoring will significantly improve in the next few years.

In this paper, we used digitized hand-drawn maps and more recent, satellite-derived fire scar maps provided by KNP's fire history database to determine the annual occurrence and spatial extent of unplanned fires in KNP between 1941 and 2017. Information related to unplanned fires were analysed in relation to the Fire Management Strategy adopted at the time to determine the impact of a certain strategy on unplanned wildfire occurrence and spatial extent. Unplanned fires refers to any unscheduled fires which may include accidental wildfires caused within KNP's boundaries by staff, tourists, poachers, etc. as well as fires which have jumped into KNP from neighbouring communities within South Africa and/or Mozambique. In essence, unplanned fires are all recorded fires which are confirmed as not being any prescribed management burns or lightning (natural) fires. Management burns and lightning-derived fires were determined as separate fire causes. In some instances, fire causes were not recorded and thus are unknown; these were classified as Not Specified. Rainfall records between 1941 and 2017 were also sourced from KNP's rainfall database, and mean annual rainfall was calculated for each of the different fire management eras.

Results and Discussion

During 1941-2017, fires have been a regular (nearly annual) occurrence in KNP irrespective of the fire management strategy at the time (fig. 2 a, b). Following the 1969-1970 drought, there were no records of fires in KNP during 1971. This regular occurrence of fires within this African savanna is evident of the key role and need for fires in this fire-prone landscape. During the 76 years analysed, the only periods in which less than 100 000 ha of KNP had been burnt, i.e. 1945, 1954, 1966, 1971, 1984-1984, 1992-1994, 1998, 2016-2017, it had coincided with a recent major El-Niño phenomenon resulting in below average rainfall years (Richard, Fauchereau, Pocard, Rouault & Trzaska, 2001; Rouault & Richard, 2003; Masih, Maskey, Mussá & Trambauer, 2014). The lack of fire extent experienced during and/ or after a drought year is expected given that mean annual rainfall for the preceding two years, has a significant impact on fire occurrence and return intervals (Van Wilgen *et al.*, 2000, 2004).

Between 1941 and 1980, the fire management strategy in KNP had gone through three distinct phases, i.e. No Strategy during 1941-1947, Fire Suppression during

1948-1956 and Fixed Prescribed Burning during 1957-1980 (fig. 2a). During 1941-1947 when KNP did not have a clear strategy towards fire management, fires occurred annually and the spatial extent of these fires varied between years. On average, fires burnt about 13 % of the park during this period (fig. 3). The amount of area burnt (fire extent) during that “No Strategy” period ranged between 17 910 (during a drought year in 1945) and 622 466 ha the following year. It is interesting to note that the year in which the greatest fire extent had been recorded, i.e. 1946, these fires were all as a result of unplanned fires recorded as being “Accidental”. Unfortunately, the exact causes of most of these fires during this “No Strategy” phases are unknown, as this was not a major concern during this period of KNP’s history. It is conceivable that lightning fires may have occurred but the spatial extent is unknown, although it is believed to be a minimal proportion of the overall area burnt. Lightning fires are known to not be a regular ignition source and do not often burn through large areas of woodland (Walter, 1971; Van Wilgen *et al.*, 2000). Fire occurrence, its extent and its perceived negative impacts on land degradation and erosion was more important than the actual fire cause (Rabie, 1974; Trollope, 1984), hence the adoption of the Fire Suppression period as of 1948. Although the intention was to protect against fires and suppress all fires across KNP (including lightning fires), this proved impossible as large areas had still burnt on an annual basis during 1948 and 1956 (fig. 2a). Due to no prescribed management burns allowed during this time, all fires which occurred are classified as unplanned burns (except in 1955). Throughout the fire suppression phase, roughly 20 % of the park would burn each year (fig. 3). This provides insight into the inevitable occurrence of fires in these savanna systems, where an active fire protection and suppression policy resulted in even larger burnt areas than the previous “laissez faire” philosophy with no clear fire strategy. The greatest spatial extent of unplanned fires on record occurred in 1953, during the Fire Suppression period, when nearly 900 000 ha (about 45 %) of KNP had burnt due to multiple unplanned wildfires. By excluding fires in these landscapes, fuel loads will accumulate over time and provide sufficient amounts of fuel to support large-scale, uncontrollable wildfires.

As a result of the large, unplanned fires which occurred during the Fire Suppression phase, KNP management had begun to realise the need for fires in this ecosystem and implemented a Prescribed Burning strategy from 1957 onwards. In 1981, the strategy was slightly adapted to allow for seasonal variation in the timing of prescribed burns until 1990. This four-decade long period was characterized by less and smaller unplanned fires due to the active rotational burns applied by park rangers (fig. 2a, b). By burning blocks of KNP in a regular rotation

(every three years) and creating a patchy mosaic of fuel loads across the park, unplanned fires were not able to burn continuously through large regions of KNP. Unplanned burns accounted for less than 34 % and 33 % of all fires which occurred during the Fixed Prescribed Burning and Flexible Prescribed Burning period, respectively, which is the lowest proportion of unplanned fires in all of the various fire management strategies applied (fig. 4). However, on average 23 % and 19 % of the park would burn (as a result of all fires) on an annual basis during the Fixed and Flexible prescribed burning eras, respectively (fig. 3). It was during these prescribed burning eras, between 1957 and 1990, that most of the park would burn annually yet very few of those fires were unplanned as a result of large areas being burnt by regular rotational block burns. Throughout KNP’s documented fire history between 1941 and 2017, the greatest proportion of the park (i.e. > 50 %) was burnt in 1978 following a wet cycle between 1975 and 1977 which consecutively experienced more than 25 % of the mean annual rainfall (Van Wilgen *et al.*, 2004; MacFadyen, Zambatis, Van Teeffelen & Hui, 2018). Most of the area burnt during 1978 was as a result of the prescribed management rotational burns and not unplanned fires.

During the Lightning Fire strategy between 1991 and 2000 (fig. 2b), whereby no prescribed management burns were allowed, unplanned wildfires had consistently accounted for more area burnt than lightning fires (except in 1996). Due to the lack of active burning by park management, more hectares within the park were subject to being burnt by large wildfires. Between 1991 and 2000, about 14 % of KNP would burn on average per year, similarly to the No Strategy period (fig. 3). The proportion of unplanned fires during the Lightning Fire era was more than during the prescribed burning period 40 years prior whereby 64 % of annual fires were unplanned as compared to 33-34 % unplanned during the prescribed burning period (fig. 4). The frequent occurrence and spread of unplanned fires continued until the strategy changed in 2001 following two consecutive years of substantially more area burnt by unplanned fires than lightning in 1999 and 2000. It is likely attributed to above-average rainfall during 1999-2000 which promoted the accumulation of very high fuel loads which provided substantial combustible material for the spread of unplanned fires in 1999-2001 (Van Wilgen *et al.*, 2004). The largest accidental fire on record during the Lightning Fire era burnt roughly 155 000 ha in 1999. Even though more mean annual rainfall fell during this era, less area was nonetheless burnt due to the prohibiting of prescribed management burns and suppression of any other fires besides lightning fires. This provides further clarity on the effect of fire management strategies on wildfire occurrence and spatial extent, which overrides the influence of mean annual rainfall in the longer term.

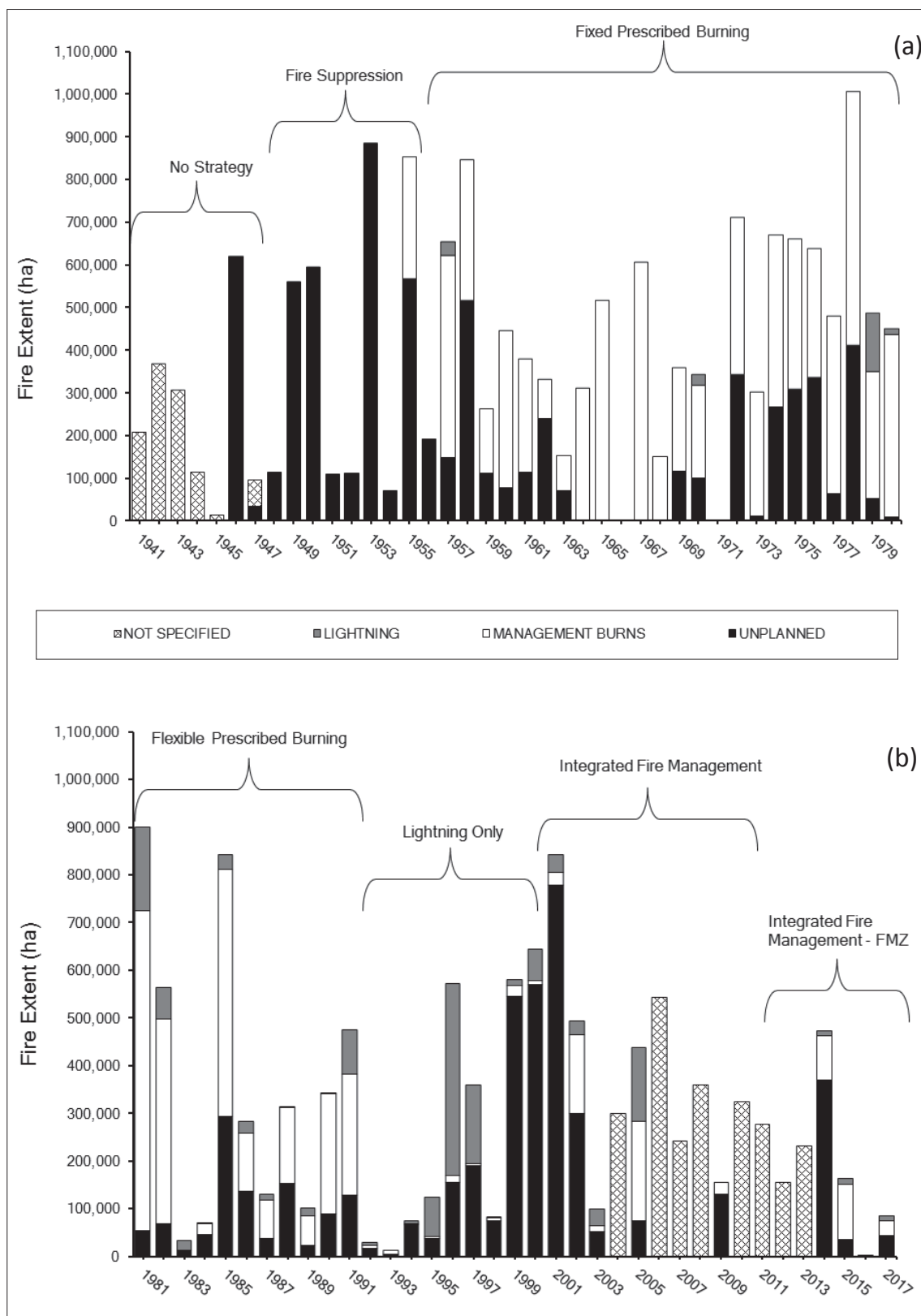


Fig. 2 - The occurrence of accidental fires relative to management burns and lightning fires per fire management strategy between 1941-1980 (a), and 1981-2017 (b).

Fig. 2 - Ocorrência de incêndios acidentais referentes a queimadas de gestão e a incêndios por raios e por estratégia de manejo de fogo entre 1941-1980 (a) e 1981-2017 (b).

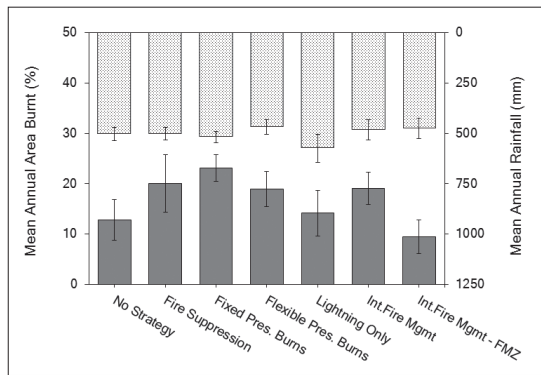


Fig. 3 - Mean area burnt per year under various fire management strategies in KNP between 1941 and 2017. Error bars denote Standard Error. Fixed Pres. Burns: Fixed Prescribed Burning; Flexible Pres. Burns: Flexible Prescribed Burning period; Int. Fire Mgmt: Integrated Fire Management; Int. Fire Mgmt-FMZ: Integrated Fire Management with updated Fire Management Zones.

Fig. 3 - Área média queimada por ano em função das várias estratégias de manejo de fogo no PNK entre 1941 e 2017. As barras de erro indicam o erro padrão. Fixed Pres. Burns: Queimas prescritas fixas; Flexible Pres. Burns: período flexível de queimas prescritas; Int. Fire Mgmt: Gerenciamento Integrado de Incêndio; Int. Fire Mgmt-FMZ: Gestão integrada de incêndios com zonas atualizadas de gestão de incêndios.

The Integrated Fire Management strategy was adopted in 2001 which allowed for various ignition sources, including lightning, management burns, trans-migrants traversing the park between South Africa and Mozambique, etc. Prescribed burning was based on calculated burn targets derived from preceding rainfall and available biomass (fuel load) which defined the amount of area to be burnt each year. For years in which fire causes are known, unplanned fires generally burnt through less area than all other fires, i.e. management and lightning fires (fig. 2b). The largest fire during this period had burnt just over 78 000 ha. After the updated Integrated Fire Management strategy with specified Fire Management Zones, the spatial extent of fires had declined likely due to certain areas no longer being burnt as a result of specific ecological objectives and limiting fire applications in that area (fig. 3). However, 2014 was a particularly dry year which received nearly 35 % less of the mean annual rainfall and followed two consecutive years of above average rainfall of about 20 % which would have resulted in decent fuel load accumulation (MacFadyen *et al.*, 2018). During 08th and 23rd of September 2014, a particular sequence of six accidental wildfires contributed to roughly 177 260 ha (47 %) of the 375 243 ha burnt by unplanned fires that year. The largest of these fires burnt more than 54 000 ha. Due to the scattered localities of multiple and concurrent wildfires, KNP required the assistance of external fire fighting teams and aerial support to contain the fires which had threatened concessions (safari lodges) which would have resulted in damage to property and possible loss of lives.

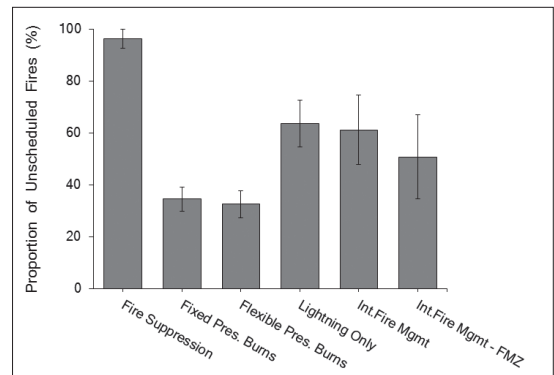


Fig. 4 - Proportion of unplanned fires relative to all other fire causes under various fire management strategies in KNP between 1947 and 2017. Excludes the No Strategy period due to the lack of confirmed unplanned fires. Error bars denote Standard Error. Fixed Pres. Burns: Fixed Prescribed Burning; Flexible Pres. Burns: Flexible Prescribed Burning period; Int. Fire Mgmt: Integrated Fire Management; Int. Fire Mgmt-FMZ: Integrated Fire Management with updated Fire Management Zones.

Fig. 4 - Proporção de incêndios não programados em relação a todas as outras causas de incêndio durante várias estratégias de gestão de incêndios no PNK entre 1947 e 2017. Exclui a era Sem Estratégia devido à falta de incêndios não programados confirmados. Barras de erro indica erro padrão. Fixed Pres. Burns: Queimas prescritas fixas; Flexible Pres. Burns: período flexível de queimas prescritas; Int. Fire Mgmt: Gerenciamento Integrado de Incêndio; Int. Fire Mgmt-FMZ: Gestão integrada de incêndios com zonas atualizadas de gestão de incêndios.

Throughout KNP's fire history and its various fire management strategies, unplanned wildfires have been a frequent occurrence. Particular strategies where fires were either actively suppressed or prescribed burning prohibited, resulted in situations where wildfires were more frequent and burnt through much larger areas. This has been shown in other fire-prone landscapes such as conifer forests in North America where inappropriate fire management strategies were ineffective in limiting large, uncontrollable wildfires (van Wagtenonk, 2007). Fires should be promoted as a natural ecosystem process and land management practices need to be designed in order to ensure the role of fires (Hann & Bunnell, 2001).

The use of prescribed burning will assist in the creation of a patchy mosaic of recently-burnt areas with lower fuel loads which, in turn, could limit the spread of wildfires through large tracts of bush. These breaks in fuel load will assist park management in controlling wildfires, if they occur. Fortunately, KNP has an extensive road network that act as firebreaks which, depending on the intensity of the fire and weather conditions, can be used to stop the spread of a wildfire. Prescribed fires should be promoted and tolerated in fire-prone landscapes whilst ensuring safety to people and properties. The avoidance and suppression of fires will increase the risk of large-scale uncontrollable wildfires which will require additional fire-fighting support in order to contain and extinguish these wildfires.

Conclusion

Fires are inevitable in these fire-driven savanna landscapes and will occur on an annual basis in various parts of KNP, except in extremely low rainfall years. Fire management strategies influence the occurrence and spatial extent of unplanned wildfires over time. An inappropriate strategy such as banning prescribed burning in these ecosystems, will lead to extensive areas being burnt by inevitable wildfires due to the accumulation of fuel over time. This will increase the potential risk of the occurrence and spread of devastating wildfires which will threaten loss of life and damage to property. Therefore, prescribed burns by park management should continue to be implemented in order to limit the occurrence and spread of unplanned and uncontrollable wildfires.

Prescribed burning is a critical management tool which should be applied in fire-prone landscapes where people would have traditionally used fires. However, research and monitoring is needed in order to determine the appropriate fire regime necessary which describes the ideal fire frequencies and intensities needed to manage a fire-driven system. Archiving of historical records of fires is of utmost importance to allow for the review of previous eras and how management strategies at the time may have influenced fire occurrence and extent within a certain area. Without such information, it renders the development of an appropriate fire management strategy extremely difficult.

Acknowledgements

The authors would like to thank South African National Parks for access to the fire and rainfall databases. Furthermore, we would like to extend our appreciation to the Conservation Management department, particularly the Rangers Corp, for implementing the various fire management strategies and providing detailed fire reports and records for archiving.

References

- Archibald, S., & Hempson, G. P. (2016). Competing consumers: contrasting the patterns and impacts of fire and mammalian herbivory in Africa. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1703), 20150309. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0309>
- Archibald, S., Roy, D. P., Van Wilgen, B. W., & Scholes, R. J. (2009). What limits fire? An examination of drivers of burnt area in Southern Africa. *Global Change Biology*, 15(3), 613-630. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01754.x>
- Bond, W. J., & Keeley, J. E. (2005). Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(7), 387-394.
- Brynard, A. M. (1971). Controlled burning in the Kruger National Park: history and development of veld burning policies. In *Proceedings of the annual Tall Timbers Fire Ecology Conference* (Vol. 11, p. 219-231). Tall Timbers Research Station, Tallahassee, Florida.
- Furley, P. A., Rees, R. M., Ryan, C. M., & Saiz, G. (2008). Savanna burning and the assessment of long-term fire experiments with particular reference to Zimbabwe. *Progress in Physical Geography*, 32(6), 611-634. DOI: <https://doi.org/10.1177/0309133308101383>
- Govender, N., Mutanga, O., & Ntsala, D. (2012). Veld fire reporting and mapping techniques in the Kruger National Park, South Africa, from 1941 to 2011. *African Journal of Range & Forage Science*, 29(2), 63-73. DOI: <https://doi.org/10.2989/10220119.2012.697918>
- Hann, W. J., & Bunnell, D. L. (2001). Fire and land management planning and implementation across multiple scales. *International Journal of Wildland Fire*, 10, 389-403.
- Joubert, S. (2007). *The Kruger National Park: A history* (1st ed., Vol. 1-3). High Branching.
- Justice, C., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J., Roy, D., ... Kaufman, Y. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 244-262. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00076-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00076-7)
- Kanthack, E. (1907). Sluits, their evil and prevention. *Agricultural Journal of the Cape of Good Hope*, 21, 574-589.
- Kennedy, A. D., & Potgieter, A. L. F. (2003). Fire season affects size and architecture of *Colophospermum mopane* in southern African savannas. *Plant Ecology*, 167(2), 179-192.
- Mabunda, D., Pienaar, D. J., & Verhoef, J. (2003). The Kruger National Park: a century of management and research. *The Kruger Experience: Ecology and Management of Savanna Heterogeneity*, 3-21.
- MacFadyen, S., Zambatis, N., Van Teeffelen, A. J. A., & Hui, C. (2018). Long-term rainfall regression surfaces for the Kruger National Park, South Africa: a spatio-temporal review of patterns from 1981 to 2015. *International Journal of Climatology*, 38(5), 2506-2519. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5394>
- Masih, I., Maskey, S., Mussá, F. E. F., & Trambauer, P. (2014). A review of droughts on the African continent: a geospatial and long-term perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(9), 3635-3649.

- Ngobeni, D. D. (2005). *Commission Of Enquiry Into The Fire At The Pretoriuskop Area In The Kruger National Park That Broke Out On 4 September 2001*. (Commission of Enquiry) (p. 106). Pretoria, South Africa: South African National Government.
- Pienaar, U. de V. (2012). *A cameo from the past: the prehistory and early history of the Kruger National Park* (1st ed.). Pretoria, South Africa: Protea Boekhuis.
- Rabie, M. A. (1974). South African soil conservation legislation. *Comp. & Int'l LJS Afr.*, 7, 255.
- Richard, Y., Fauchereau, N., Pocard, I., Rouault, M., & Trzaska, S. (2001). 20th century droughts in southern Africa: spatial and temporal variability, teleconnections with oceanic and atmospheric conditions. *International Journal of Climatology*, 21(7), 873-885.
- Rouault, M., & Richard, Y. (2003). Intensity and spatial extension of drought in South Africa at different time scales. *Water SA*, 29(4), 489-500.
- Sankaran, M., Hanan, N. P., Scholes, R. J., Ratnam, J., Augustine, D. J., Cade, B. S., ... Zambatis, N. (2005). Determinants of woody cover in African savannas. *Nature*, 438(7069), 846-849.
DOI: <https://doi.org/10.1038/nature04070>
- Sankaran, M., Ratnam, J., & Hanan, N. P. (2004). Tree-grass coexistence in savannas revisited - insights from an examination of assumptions and mechanisms invoked in existing models. *Ecology Letters*, 7(6), 480-490.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00596.x>
- Scholes, R. J., & Archer, S. R. (1997). Tree-grass interactions in savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28(1), 517-544.
- Schroeder, W., Prins, E., Giglio, L., Csiszar, I., Schmidt, C., Morisette, J., & Morton, D. (2008). Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2711-2726.
- Scott, J. D. (1970). Pros and cons of eliminating veld burning. *Proceedings of the Annual Congresses of the Grassland Society of Southern Africa*, 5(1), 23-26.
- Smit, I. P. J., Smit, C. F., Govender, N., Linde, M. van der, & MacFadyen, S. (2013). Rainfall, geology and landscape position generate large-scale spatiotemporal fire pattern heterogeneity in an African savanna. *Ecography*, 36(4), 447-459.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07555.x>
- Smith, B. D. (2007). The ultimate ecosystem engineers. *Science-New York then Washington*, 315(5820), 1797.
- Thompson, W. R. (1936). Veld burning: its history and importance in South Africa. *Publications of the University of Pretoria, Series L: Agriculture*, 31, 1-19.
- Trollope, W. S. W. (1984). Fire in savanna. In *Ecological effects of fire in South African ecosystems* (p. 149-175). Springer.
- van Wagtenonk, J. W. (2007). The history and evolution of wildland fire use. *Fire Ecology*, 3(2), 3-17.
- Van Wilgen, B. W. (2009). The evolution of fire management practices in savanna protected areas in South Africa. *South African Journal of Science*, 105(9-10), 343-349.
- Van Wilgen, B. W., Biggs, H., O'regan, S. P., & Mare, N. (2000). Fire history of the savanna ecosystems in the Kruger National Park, South Africa, between 1941 and 1996, 96, 167-178.
- Van Wilgen, B. W., Govender, N., Biggs, H. C., Ntsala, D., & Funda, X. N. (2004). Response of Savanna Fire Regimes to Changing Fire-Management Policies in a Large African National Park: *Fire Regimes in an African Park*. *Conservation Biology*, 18(6), 1533-1540.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00362.x>
- Van Wilgen, B. W., Govender, N., Smit, I. P. J., & MacFadyen, S. (2014). The ongoing development of a pragmatic and adaptive fire management policy in a large African savanna protected area. *Journal of Environmental Management*, 132, 358-368.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.003>
- Venter, F. J., & Gertenbach, W. P. D. (1986). A cursory review of the climate and vegetation of the Kruger National Park. *Koedoe*, 29(1), 139-148.
- Venter, F. J., Scholes, R. J., & Eckhardt, H. C. (2003). The abiotic template and its associated vegetation pattern. *The Kruger Experience: Ecology and Management of Savanna Heterogeneity*, 83, 129.
- Walker, B. H., & Noy-Meir, I. (1982). Aspects of the stability and resilience of savanna ecosystems. In *Ecology of tropical savannas* (p. 556-590). Springer.
- Walter, H. (1971). Natural savannas as a transition to the arid zone. *Ecology of Tropical and Subtropical Vegetation*. Oliver and Boyd, Edinburgh, 238-265.
- Whitlock, C., Colombaroli, D., Conedera, M., & Tinner, W. (2018). Land-use history as a guide for forest conservation and management. *Conservation Biology*, 32(1), 84-97.

(Página deixada propositadamente em branco)



RISCOS



HIGH RESOLUTION FIRE HAZARD INDEX BASED ON SATELLITE IMAGES*

29

ÍNDICE DE RISCOS DE INCÊNDIO DE ALTA RESOLUÇÃO COM BASE EM IMAGENS SATÉLITES

Giovanni Laneve

Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica e Energetica, Universidade de Roma "La Sapienza" (Italy)
ORCID 0000-0001-6108-9764 giovanni.laneve@uniroma1.it

Lorenzo Fusilli

Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica e Energetica, Universidade de Roma "La Sapienza" (Italy)
ORCID 0000-0001-9912-7332 lorenzo.fusilli@uniroma1.it

ABSTRACT

In December 2015, after 3 year of activity, the FP7 project PREFER (Space-based Information Support for Prevention and REcovery of Forest Fires Emergency in the MediteRanean Area) came to an end. The project was designed to respond to the need to improve the use of satellite images in applications related to the emergency services, in particular, to forest fires. The project aimed at developing, validating and demonstrating information products based on optical and SAR (Synthetic Aperture Radar) imagery for supporting the prevention of forest fires and the recovery/damage assessment of burnt area. The present paper presents an improved version of one of the products developed under the PREFER project, which is the Daily Fire Hazard Index (DFHI).

Keywords: Satellite, hazard, fire, optical imagery.

RESUMO

Em dezembro de 2015, após 3 anos de atividade, o projeto FP7 PREFER (acrónimo de *Space-based Information Support for Prevention and REcovery of Forest Fires Emergency in the MediteRanean Area*) foi concluído. O projeto propunha-se a dar resposta à necessidade de melhorar a utilização de imagens de satélite em aplicações relacionadas com serviços de emergência e, em particular, com os incêndios florestais. O projeto teve como principal objetivo o desenvolvimento, validação e demonstração de produtos baseados em imagens ópticas e de radar (*SAR - Synthetic Aperture Radar*) para apoio à prevenção de incêndios florestais, à avaliação de danos e recuperação de áreas ardidas. Este artigo apresenta um dos produtos desenvolvidos no âmbito do projeto PREFER, numa versão aperfeiçoada, designadamente o Índice Diário de Perigo de Incêndio (*DFHI - Daily Fire Hazard Index*).

Palavras-chave: Satélite, perigo, incêndio, imagens ópticas.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no IV Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 25-08-2017, sujeito a revisão por pares a 22-09-2017 e aceite para publicação em 13-11-2017. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 26 (I), 2019, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introduction

In December 2015, after 3 year of activity, the FP7 project PREFER (Space-based Information Support for Prevention and REcovery of Forest Fires Emergency in the MediteRanean Area) reached the end (G. Laneve *et al.*, 2016a). However, project partners (see TABLE I) were requested to continue to provide users with the project products even during summer 2016. The main purpose of PREFER was to set up a common infrastructure to provide mapping tools and services, adapted to the needs of end-users working in distinct stages of forest fire management. Therefore, the project aimed at developing, validating and demonstrating information products based on optical and SAR (Synthetic Aperture Radar) imagery for supporting prevention and recovery/damage assessment of forest fires. To attain this goal, the project was driven by three main conditions:

- 1) The development of a common framework regarding fire prevention and recovery, applicable to European Mediterranean countries;
- 2) The creation of a service available at the operational level and useful for multiple users from different sectors;
- 3) The timely delivery of easily-accessible cartographic tools, based on harmonized, high-quality and up-to-date information.

The present paper aims at presenting an improved version of one of the products developed in the framework of the PREFER project, that is, the Daily Fire Hazard Index (DFHI) (G. Laneve *et al.*, 2016b).

The computation of the Daily Fire Hazard Index (DFHI), is obtained starting from the calculation of the FPI (Fire Potential Index) that is based on the relationship provided by some authors (R. Burgan *et al.*, 1998; A. Lopez *et al.*, 2002; J. San-Miquel *et al.*, 2003).

The estimate processing of the current version of the DFHI involves the following steps:

- 1) The availability of a fuel map of the area of interest;
- 2) The computation of the Relative Greenness based on daily revisit frequency sensors (MODIS);
- 3) The introduction of the meteorological data;
- 4) Computation of the DFHI for three days by using meteo data of the actual day and the next two days;
- 5) Correction of the live vegetation contribution to fueling the fire by introducing the vegetation water content;
- 6) Correction of the DFHI by introducing the effect of the solar illumination conditions.

In Europe, updated information of fire hazards are daily provided by the JRC EFFIS (Joint Research Centre, European Forest Fire Information System) system (J. San-Miguel-Ayanz *et al.*, 2003). However, the current version of DFHI has a spatial resolution of 250 meters, whereas the FWI (Fire Weather Index) provided by EFFIS has a 10 km spatial resolution.

The enhanced version of the DFHI, described in this paper contemplates: an improved spatial resolution using high resolution images (Landsat 8 and Sentinel 2),

TABLE I - List of the PREFER partners and the products for which they are responsible.

TABELA I - Lista dos parceiros do PREFER e os produtos sob sua responsabilidade.

PREFER Partners	Short Name/ Country	Products responsibility
Scuola di Ingegneria Aerospaziale	SIA/Italy	Project Coordination, fire Hazard, fire prescribed maps & Damage Assessment
IES Consulting	IES/Italy	Vegetation recovery & burned areas delineation
Compagnia Generale per lo Spazio S.P.A	CGS/Italy	Service Infrastructure Design, Development, Integration & Testing
GMV AEROSPACE AND DEFENCE SA	GMV/Spain	Space Segment Analysis; Fuel map & fire risk map
Proionta kai ypiresies tilematikis diktyakon kai tilepikioniakon efarmoggon etaira periorismenis efthisis epe	SATWAYS/Greece	Mobile Applications Design, Development, Integration & Testing; User Training & Workshops
Center of Security Studies	KEMEA/Greece	Legal framework analysis and user requirements and Appraisal
University of Strasburg	SERTIT/France	3D damage assessment and soil erosion
University of Coimbra	UCO/Portugal	Service Validation and Fire vulnerability map

the introduction of the wind effects in the estimation of the dead vegetation moisture water content, the introduction of further elements in the product processing chain (estimate of the fire Rate of Spread, ROS). The results, in terms of improvement of the high fire hazard areas identification, will be discussed.

The DFHI, represents an advanced version of the FPI (Fire Potential Index) aiming at adapting this index, originally developed for United States (R. Burgan *et al.*, 1998), to Euro-Mediterranean conditions (A. López *et al.*, 2002).

The idea to develop maps able to show the fire risk/hazard is based on the observation that there is a tight relationship between the fire and the characteristics of the fuel (vegetation type, density, humidity content), the topography (slope, altitude, solar aspect angle) and the meteorological conditions (rainfall, wind direction and speed, air humidity, surface and air temperature). These parameters directly impact the proneness of a given area to the fire ignition and propagation. Since these quantities can be measured, notwithstanding the cause of the fire ignition, mainly due, in the Mediterranean area, to human actions (more than 90 % of the ignitions is intentional or accidental), could be unpredictable, the behavior of the fire can be considered strictly dependent from those and then it can be foreseen when such parameters are known. In general, according to the model adopted, the methods of fire risk estimate exploit different information and can be distinguished as follows (G. Laneve *et al.*, 2007):

"Statistical methods or Structural (long-term fire risk index) defining forecast models based on the utilization of slowly changing parameters like topography or other variables that can be considered constant along the year and statistical information on the frequency of the phenomenon".

Dynamical Methods (short-term fire risk index) based on data measured continuously (i. e. daily), on characteristics territorial data (orography and vegetation) and on forecast models of the meteorological parameters.

Indices like: Fire Probability Index and the Likely Damage Index belong to the first category. The Fire Probability Index defines the fire probability by taking into account three parameters: the fuel available, the topography and a socio-economical variable. The Likely Damage Index provides an estimate of the possible damage that a fire can cause in a given area. This index can be evaluated taking into account: soil erosion proneness, slope and rainfall amount, protection level based on the environmental interest and distance from houses that allows to consider the risk for human live and his properties. On the other side, the short-term fire indices are, in general, able to provide information on the danger of the event defining: areas of possible ignition, propagation direction and speed, irradiated energy, etc.

In its simplest form these models provide hazard index. Such an index represents the probability of the ignition and propagation of the forest fire. According to this index, a daily level of risk can be defined. The different indices used for generating maps of fire risk are, in general, based on the following meteorological parameters: air temperature and humidity, wind speed, rainfall in the previous 24 hours, cloudiness, solar radiation during the previous 24 hours, averaged monthly temperature, maximum and minimum temperature during the previous 24 hours. By combining this daily fire hazard index with the information typical of the Likely Probability Index (infrastructures, protected areas, etc.) a Fire Vulnerability Index can be computed.

The European Commission funded the development of the EFFIS (European Forest Fires Information System) system (J. San-Miguel Ayanz *et al.*, 2003). This system, developed by JRC (Joint Research Centre), provides, apart from a structural risk index already re-called above, a three days forecast based on a daily updated risk index. For several years the forecast has been based on 7 different indices (6 of them represent an evolution of indices developed for national application and they are basically meteorological indices), namely: the Portuguese index (INMG, 1988), the ICONA Method (ICONA; 1993), the numerical risk Drouet-Sol (J. Drouet *et al.*, 1993), the Italian index of risk (F. Ventura *et al.* 2001), the Canadian Fire Weather Index (K. Heidorn, 1998), the BEHAVE Model (R. Rothermel *et al.*, 1986), the Fire Potential Index (FPI) (R. Burgan *et al.*, 1993; R. Burgan *et al.*, 1998). Satellite data are used for the computation of only one of these 7 indices (the FPI). After the test period, the JRC has adopted, as method to assess the fire hazard level, the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System. Based on such index, fire danger is mapped in 6 classes (very low, low, medium, high, very high and extreme) with a spatial resolution of about 16 km (ECMWF data) and 10 km (MF data). The FWI is based exclusively on meteorological data.

Conversely, the FPI uses both static and dynamic variables from three data sources: fuel type maps, satellite sensor images, and meteorological data, to derive what is referred to as fire potential. This model is based on the one developed by Burgan *et al.* (1998).

The FPI consists in the estimate of the fuel conditions (H. Anderson, 1982) by means of a separation of the dead and green vegetation. This estimate is carried out by using maps of the vegetation index NDVI (Normalized Digital Vegetation Index) (N. Gobron *et al.*, 2000) obtained with space-borne sensor like, for instance, MODIS (on board of the Terra and AQUA satellites) (A. Huete *et al.*, 2002). To carry out the computation, a map of the fuel distribution on the area of interest is needed. Other needed quantities are: the air temperature and

humidity, cloudiness and rainfall. This index, commonly called integrated or advanced, is based on the FPI derived by Burgan (R. Burgan *et al.*, 1998) for U.S. and successfully validated in California. Its validation in the European context has not yet completed. The model requires the NDVI to compute the Relative Greenness, meteorological data (air temperature, relative humidity, cloudiness and rainfall) for estimating the Ten Hours Time Lag Fuel Moisture (FM10hr) (R. M. Nelson, 2000) and a fuel map to estimate the percentage of dead vegetation. The relative greenness (RG) or vegetation stress index represents how much green is a pixel, with reference to the range of historical observation of the NDVI used (R. Burgan *et al.*, 1993). This quantity allows the estimate of the percentage of green fuel, as function of the fuel model assigned to each pixel.

The Ten Hours Time Lag Fuel Moisture (FM10hr) has been selected as the quantity representative of the humidity available in the dead vegetation (R. M. Nelson, 2000). Such a quantity can be computed by using the meteorological parameters and the relationship described by Lopez (A. Lopez *et al.*, 2002).

The computation of the FPI, in the version that takes into account the JRC experience (Lopez *et al.*, 2002), involves the following steps: estimate of relative

greenness based on NDVI computed from MODIS images; estimate of the fuel equivalent moisture content by using meteorological data (temperature and humidity).

The version of the DFHI index developed within the PREFER project was based on MODIS images and did not take into account wind in the estimation of the *ecm* (equivalent moisture content) defined as the moisture present in the small dead vegetation.

The paper will present and discuss the results obtained by using higher spatial/lower temporal resolution satellite images and the new estimate of FM10hr which takes into account wind speed.

Data & Method

The analysis concerns one of the test areas of the PREFER project, namely: Sardinia island. The target geographic area of the PREFER project was composed by all European territories located in the Mediterranean area and where fire occurrence is particularly relevant. To test and demonstrate the products and services developed, 5 smaller areas were selected based on the availability of data required to develop the products, the interest of end-users, the biophysical and social conditions of these areas and their fire occurrence history (fig. 1).

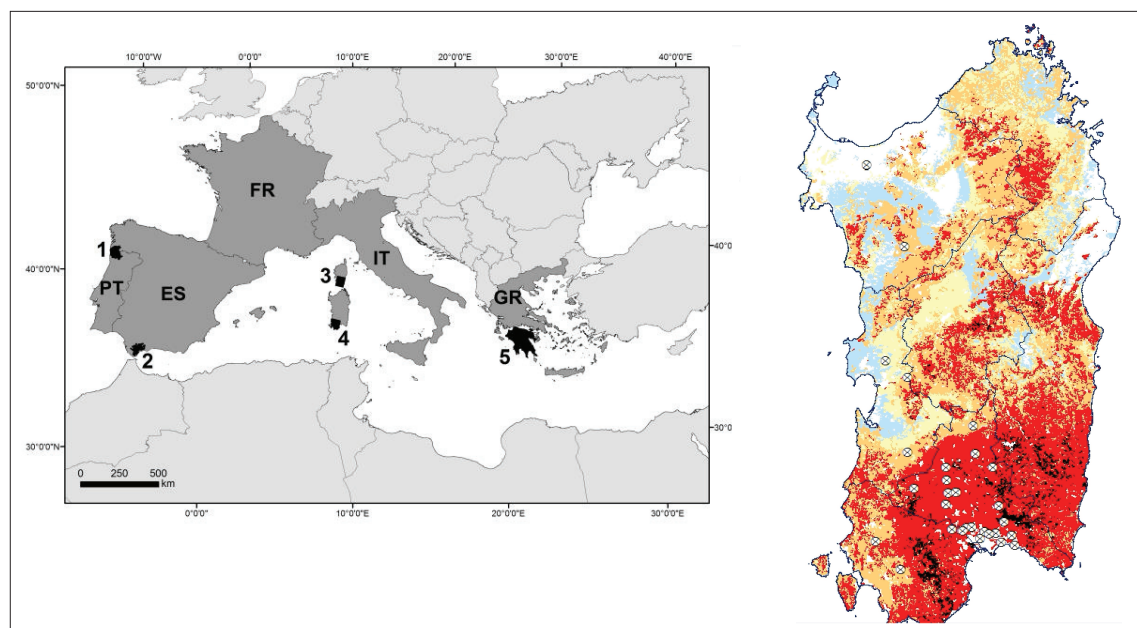


Fig. 1 - Geographic coverage of the PREFER project and location of the test areas in the participating countries. 1-Minho region, Portugal; 2-Los Alcornocales, Andaluzia, Spain; 3-SW Corsica, France; 4-SW Sardinia, Italy; 5-Peloponnese region, Greece. On the right a Daily Fire Hazard map computed for July 2015 showing that most of the fire events (white circles) occurred in the areas defined as high or very high hazard (courtesy of Sardinia Region Civil Protection).

Fig. 1 - Cobertura geográfica do projeto PREFER e localização das áreas de teste nos países participantes. 1- Região do Minho, Portugal; 2- Parque Los Alcornocales, Andaluzia, Espanha; 3-SO da Córsega, França; 4-SO da Sardenha, Itália; 5-Região do Peloponeso, Grécia. À direita, apresenta-se um mapa de perigo de incêndio diário calculado para julho de 2015, mostrando que a maioria dos incêndios (assinalados com círculos brancos) ocorreu nas áreas classificadas como perigo alto e muito alto (cortesia da Proteção Civil da região da Sardenha).

TABLE II lists the number of fire occurrences for the 5 regions selected as test areas for the project (source JRC EFFIS reports). Concerning these areas:

- *Minho region*. The region covers 24 municipalities and has an area of 4.700 km². It is characterized by a high amount of rainfall, particularly in the areas influenced by the Atlantic Ocean, contributing to the high level of biomass productivity of the region. The high biomass production, the irregular topographical conditions and the abandonment of the rural area due to recent demographic and social changes (ageing of population and migration to urban centres), favour the occurrence and propagation of forest fires; this high incidence of fires, especially in the inland municipalities, is also due to the presence of human activities (hunting, grazing) and different accessibility structures;
- *Andalusia area*. The area covers 523 km² and encloses two municipalities (Cádiz and Malaga), corresponding to the Natural park of Alcornocales, a protected area. The altitude in the area ranges between 0-500 m. The Alcornocales Park is affected by fires and requires a special effort in prevention due to its outstanding ecological value. Fires affecting the park typically originate in the border with urban areas outside the park, particularly in summer season. During the summer season, the Alcornocales Park is normally considered as “very high fire risk area”, but at the same time, the cork oaks silviculture counteracts fire risk;
- *Corsica region*. The region, with an area of 8.680 km² is composed by 2 departments: Corse-du-Sud and Haute-Corse. Its topography ranges from 0 to 2706 m. Its Mediterranean climate, with typical summer drought, is often tempered by altitude. This predominantly rural territory is classified as a French Regional Natural Park, due to its exceptional landscapes, natural habitats and cultural heritage, and benefits from important safeguard measures. On average, more than 500 fires burn over 1000 ha per year throughout the region. In this context, 360 municipalities are exposed to risk of forest fires, hence prevention and fight against this type of hazard is a major challenge, both to protect the public and to preserve biodiversity;
- *Peloponnese region*. The Greek pilot area is sited in south-west Peloponnesus and spans across five administrative units of Messinia region. It includes 29 Municipalities and hundreds of small villages and communities covering an area of 1.650 km². The test area includes Gialova lagoon, Greece’s southernmost major wetland surrounded by the natural bay of Voidokilia and featuring a significant sand-dune ecosystem. The natural vegetation covers the rough mountain relief from the sea level up to 1200 m in Mount Taygetos on the east. The area receives increased amount of rainfall compared to Central and Eastern parts of Greece, which leads to high forest biomass production. The climatic conditions of wet spring and prolonged dry summer are favorable to fire ignition. The strong decline of population in the region in recent decades led to the abandonment of agricultural land and to fuel accumulation. Fires occur often at the mid and low altitudes and the majority of them are linked with human activity, grazing and land use change. Although fires usually burn scrublands and shrubs at the lower altitudes, high forests of firs and black pines have burned at Mount Taygetos during the large fires of 2007;
- *Sardinia region*. The AOI (Area of Interest) corresponds to the footprint of a SPOT image and covers about 3000 km². The selected area in Sardinia is an important agricultural site but it is mostly important from the ecological point of view, since it hosts several protected areas (Natura2000 areas, parks) and in particular the Monte Arcosu Forest, which is one of the bigger holm oak forest of the Mediterranean region. The altitude in the area ranges between 0-1200 m. Sardinia is one of the Italian regions more affected by fires. In fact, in 2013, it was the most affected, with 10.588 ha of area burned. The PREFER AOI comprises the provinces of Carbonia Iglesias, and parts of the provinces of Cagliari and Medio-Campidano; it includes protected areas (Monte Arcosu Forest), areas of Community interest and regional parks (Sulcis, Monte Arcu Entu, Linas-Marganai). Forest fires, frequently occurring during summer season, represent the main source of risk for the area which, for this, requires a special effort in prevention and restoration.

TABLE II - Lists of the fire events in the PREFER project test areas in the past three years.

TABELA II - Listas das ocorrências de incêndio nas áreas de teste do projeto PREFER nos últimos três anos.

Region	2014 Events/burned area [ha]	2015 Events/burned area [ha]	2016 Events/burned area [ha]
Andalusia (SP)	666/3330	611/5499	484/3872
Corsica (FR)	541/1623	549/1647	483/1932
Minho (PT)	3760/7144	10003/34872	8876/115639
Peloponnese (GR)	164/6166	161/3388	187/909
Sardinia (IT)	479/6919	248/2573	225/9415

Due to its relatively low spatial resolution (250 m), with respect to other PREFER products, the DFHI was computed for the whole Sardinia (fig. 2). The maps were computed during the 2016 summer season (1st June - 30th September). About 360 maps were computed in the period, that is three maps per day which provide the fire hazard for the present and the two following days. The DFHI maps have been computed for all the five (5) PREFER project test sites, that is: Corsica (France), Peloponnese (Greece), Sardinia (Italy), Minho (Portugal) and Andalusia (Spain). The following activities are carried out daily to elaborate the DFHI product:

- Automatic download of the most recent MODIS image of the area of interest from the USGS website;
- Automatic download of the meteorological data from Department of Meteorology of the Italian Air Force;
- Retrieval of the NDVI and EWT from MODIS images;
- Extraction of the temperature and humidity maps for the areas of interest from meteo data;
- Computation of the 15 DFHI maps (3 for each area of interest);
- Product upload to the PREFER dedicated ftp address.

The DFHI product has been validated both by the PREFER project team and the end users involved in the project. Concerning the Sardinia region, the regional Civil Protection carried out the validation of the DFHI maps considering the fire events occurred in a time period of three weeks in July of 2015. The results were presented

at the PREFER final meeting in Cagliari in February 2016. The results, shown in fig. 1, confirm the capability of the DFHI in capturing the spatial distribution of the level of fire hazard since about the 80 % of fire events occurred in areas defined at high, very high or extreme hazard. MODIS Terra and Aqua images are downloaded automatically in a systematic mode each day. An example of the downloaded images is shown in fig. 3. In particular, for covering all the PREFER project test areas 884 MODIS images (MOD02Q and MOD02H) have been downloaded from the USGS website. Apart from the daily MODIS images and meteorological information, the list of data needed to compute the DFHI comprises:

- A vegetation fuel map;
- A Digital Elevation Model;
- A historical (8 - 10 years) map of the maxima and minima NDVI for each pixel of the area of interest;
- A historical (8 - 10 years) map of the maxima and minima EWT for each pixel of the area of interest.

To compute the DFHI by using Landsat8 images a new relationship for retrieving EWT from spectral reflectances have been built. In order to estimate the relationship to be used when Landsat8 images are used we performed an extended series of simulation by using PROSAIL software. The new relationship has been computed by simulating more than two million of profiles by using PROSAIL. The results obtained by means of the simulation led to the following relationship between EWT and Landsat8 spectral reflectances:

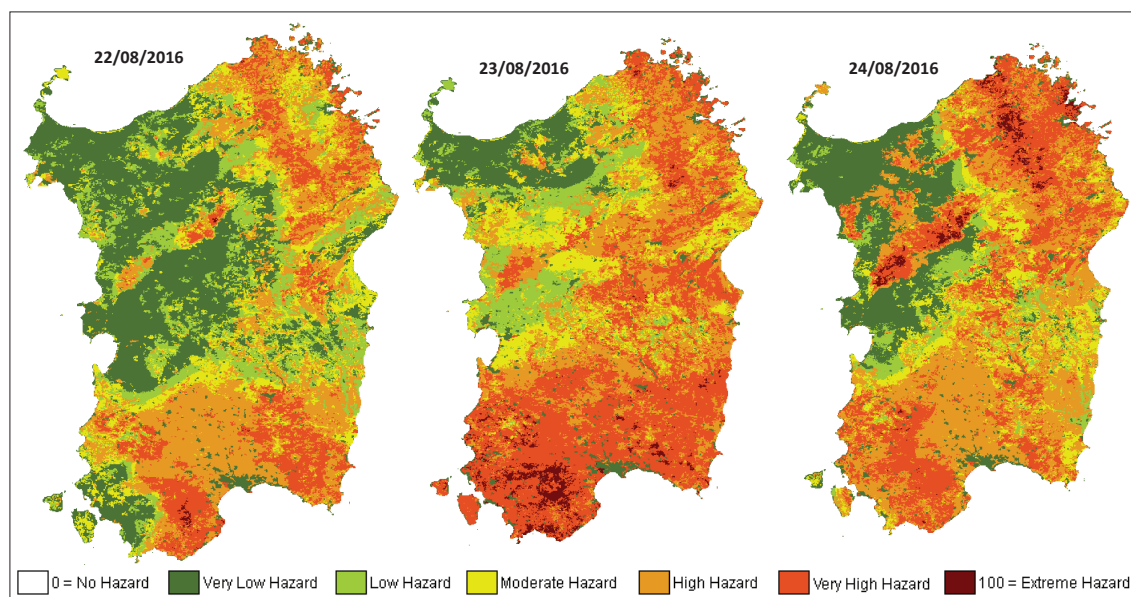


Fig. 2 - Daily hazard index maps computed for the Sardinia region in August 2016. The maps produced on 22 August 2016 depict the situation for that day and provide a prediction of fire hazard levels for the next two days (23 and 24 August 2016)..

Fig. 2 - Mapas de índice de perigo diário calculado para a região da Sardenha, em agosto de 2016. Os mapas produzidos em 22 de agosto de 2016 retratam a situação naquele dia e fornecem a previsão dos níveis de perigo de incêndio para os dois dias sucessivos (23 e 24 de agosto de 2016).

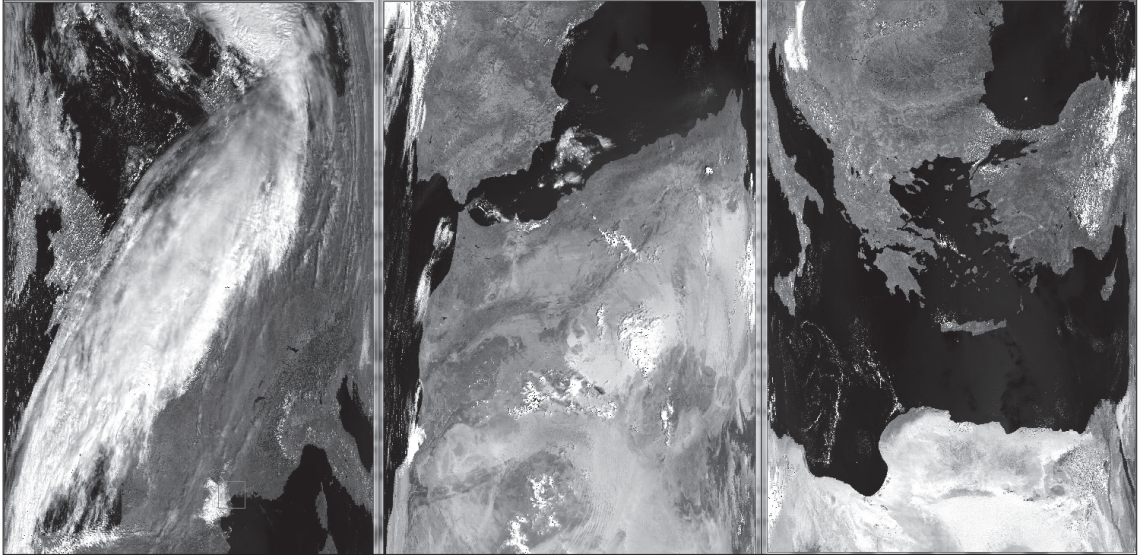


Fig. 3 - Example of the MODIS images used to compute the DFHI on 27 August 2016.

Fig. 3 - Exemplo das imagens MODIS utilizadas para calcular o DFHI para 27 de agosto de 2016.

$$ewt = a + b \cdot x + c \cdot y + \frac{1}{(d \cdot x + e \cdot y + f)} ;$$

$$x = R_{NIR} ; \quad y = R_{SWIR1} - R_{SWIR2} \quad (1)$$

where $a=-0.9573$, $b=0.4326$, $c=2.782$; $e=13.07$; $f=0.3728$ and R_{NIR} , R_{SWIR1} and R_{SWIR2} are the reflectances at 0.8 (channel 5), 1.6 (channel 6) and 2.4 μm (channel 7), respectively.

The idea to enhance spatial resolution of the daily fire hazard map assumes that the vegetation status is only slightly changing during the 16-days revisit frequency characterizing Landsat8. This hypothesis is not exactly true during the summer season and, in particular, as the dry season progresses. Of course, the change of vegetation status (reflected in the NDVI values) depends also from the type of vegetation. Fig. 5 shows this behavior by comparing the differences between the values of NDVI computed 16 days apart. To simplify the analysis, it was based on the MODIS13Q1 product, that is, the NDVI averaged on 16 days of images. From the different histograms of fig.5 related to different vegetation types and months of the summer season it can be stated:

- in June, in both forest and shrubland areas the temporal change of NDVI in the 80 - 90 % of the pixels is lower than 5 %;
- in July, as the season progresses, this value tends to increase, in fact, only in 30 % of cases it remains under 5 % of change.

Therefore, from the histogram of fig. 4 it seems that a NDVI map computed every 16 days (L8 images refresh frequency) is not enough to catch the variability of the vegetation status during the dry and hot summer season of the South-Italy. However, this problem will be solved when both Sentinel-2 satellites will be operational because in that case the revisit frequency will be improved to 5 days.

Fig. 5 shows an example a very high spatial resolution fuel map computed by GMV in the framework of the PREFER project for a zone of the Andalusia. The map allows to underline the high spatial variability of the fuel types in the Mediterranean region. In fact, zooming in the map (fig. 5 top) it can be evidenced as in some cases a fuel map at the MODIS spatial resolution (250 m) is unsuitable to represent the local variability of the vegetation (fig. 5 bottom). In the bottom image of fig. 5 a red square, corresponding to the MODIS pixel, has been superimposed to the fuel map. It is clear as, in this case, the pixel embraces several fuel types.

Results

The Ten Hours Time Lag Fuel Moisture (FM10hr) depends explicitly from the air temperature and humidity (R. Burgan *et al.*, 1998; G. Laneve *et al.*, 2014). Such a quantity can be computed by using the meteorological parameters and the relationship described by Lopez (A. Lopez *et al.*, 2002). In the Lopez relationship the FM10hr parameter depends explicitly by the air temperature and humidity. In order to introduce, in such parameter, the effect of wind, as already done for introducing the effect of the exposition to the sun (topography) in the estimate

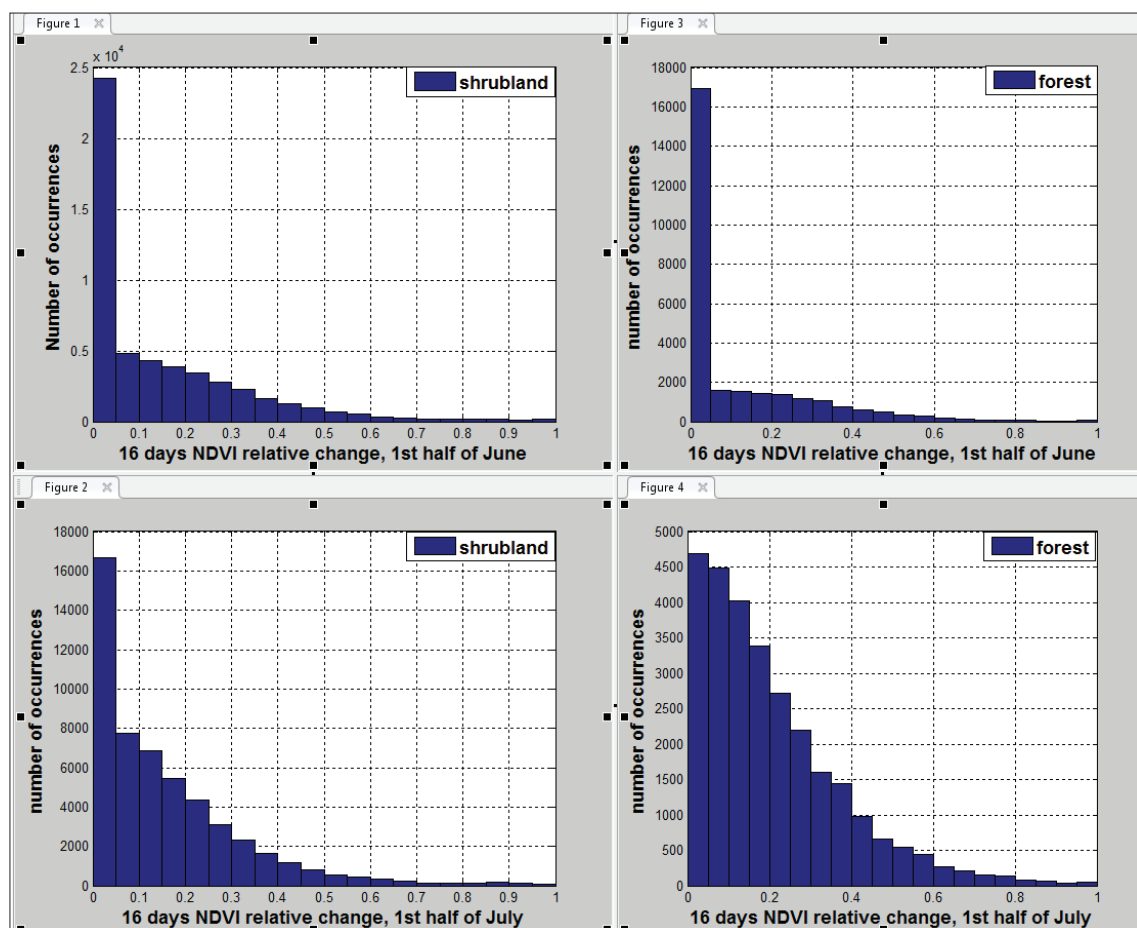


Fig. 4 - Variation of the NDVI in two weeks (revisit frequency of Landsat 8 images) in two different vegetation types and in the fire season (summer).

Fig. 4 - Variação do NDVI em duas semanas (resolução temporal das imagens Landsat8) em dois tipos diferentes de vegetação, e dois períodos da época de incêndios (durante o verão).

of the fire hazard, we exploit the evapotranspiration (ET₀) relationship provided by the Penman-Monteith formula (R. G. Allen *et al.*, 1998), modified according with FAO:

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T} \cdot u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \quad (2)$$

where ET₀ is the reference evapotranspiration [mm day⁻¹], R_n the net radiation available at the vegetation [MJ m⁻² day⁻¹], G the heat flux [MJ m⁻² day⁻¹], T the daily mean temperature at 2 m [K], u₂ the wind velocity at 2 m [m s⁻¹], e_s water vapour saturation pressure [kPa], e_a actual vapour pressure [kPa], e_s - e_a the deficit of saturation pressure [kPa], Δ the slope of the vapour pressure curve [kPa °C⁻¹], γ psychrometric constant [kPa °C⁻¹].

The FM10hr value, which takes into account wind speed, is computed by using eq. (2) for estimating the temperature needed to produce, with no wind, an evapotranspiration equivalent to the one produced in the

actual meteorological conditions (wind > 0). Fig. 6 compares the maps computed by using the meteo conditions, including wind data, of a day of August 2016, with those obtained by assuming a wind speed of 2 m/sec. The black circles highlight the areas where the difference (actual wind vs constant value of 2m/sec) affects the extend of the areas defined at high or very high fire hazard.

Fig. 7 helps in justifying the development of a new fire hazard index capable to take into account the wind speed potential effect on the fire propagation. In fact, such figure confirms, what is well known from experience, the correlation existing between wind regime and burned areas. The figure compares for the 2014 summer season (1st June - 31st October) the daily maximum wind speed with the daily amount of burned areas for the Sardinia region (source <http://www.sardegnageoportale.it/>). As explained in the previous paragraph, to DFHI takes into account the spatial distribution of vegetation type and status. The vegetation type is defined by using the vegetation fuel types identified by JRC throughout adapting

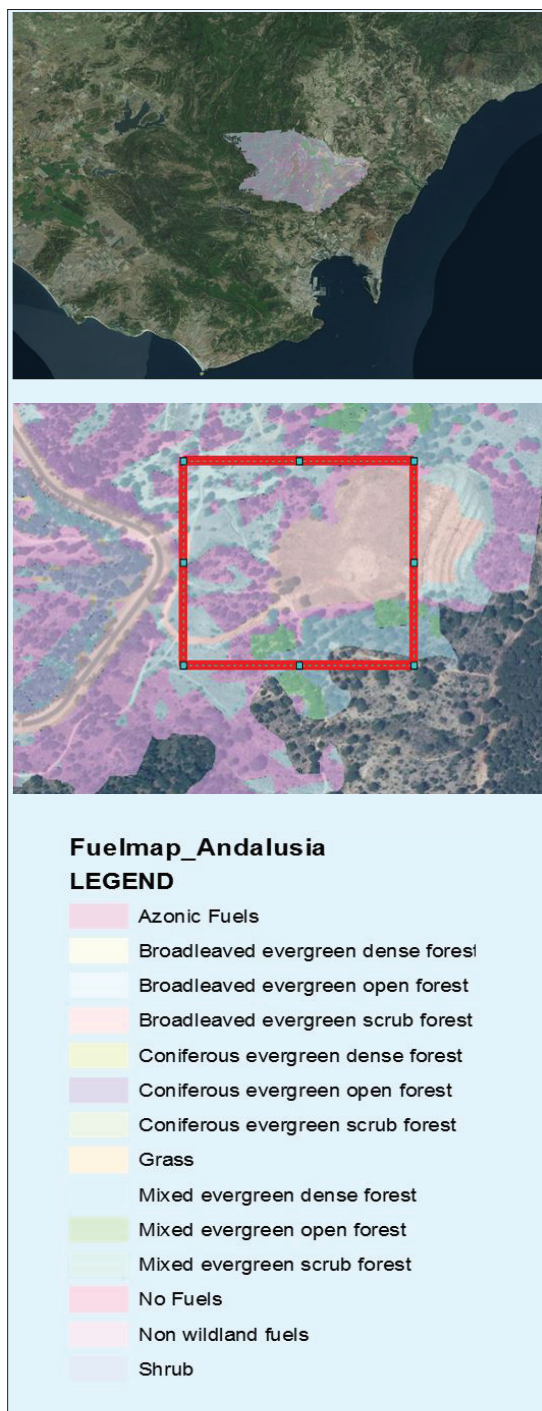


Fig. 5 - Example of the high-resolution fuel map computed by GMV (Spain) under the PREFER project for a zone of Andalusia.

The lower image represents a detail of the area on which a square box corresponding to a 250 m MODIS image pixel has been superimposed. In this case different fuel types fall in a single MODIS pixel.

Fig. 5 - Exemplo mapa de combustível de alta resolução calculado pela GMV (Espanha) no âmbito do projeto PREFER para uma zona da Andalusia. A imagem inferior representa um detalhe superpuesto sobre uma área quadrada correspondente a um pixel de imagem MODIS de 250 m. Neste caso, diferentes tipos de combustível caem num único pixel MODIS.

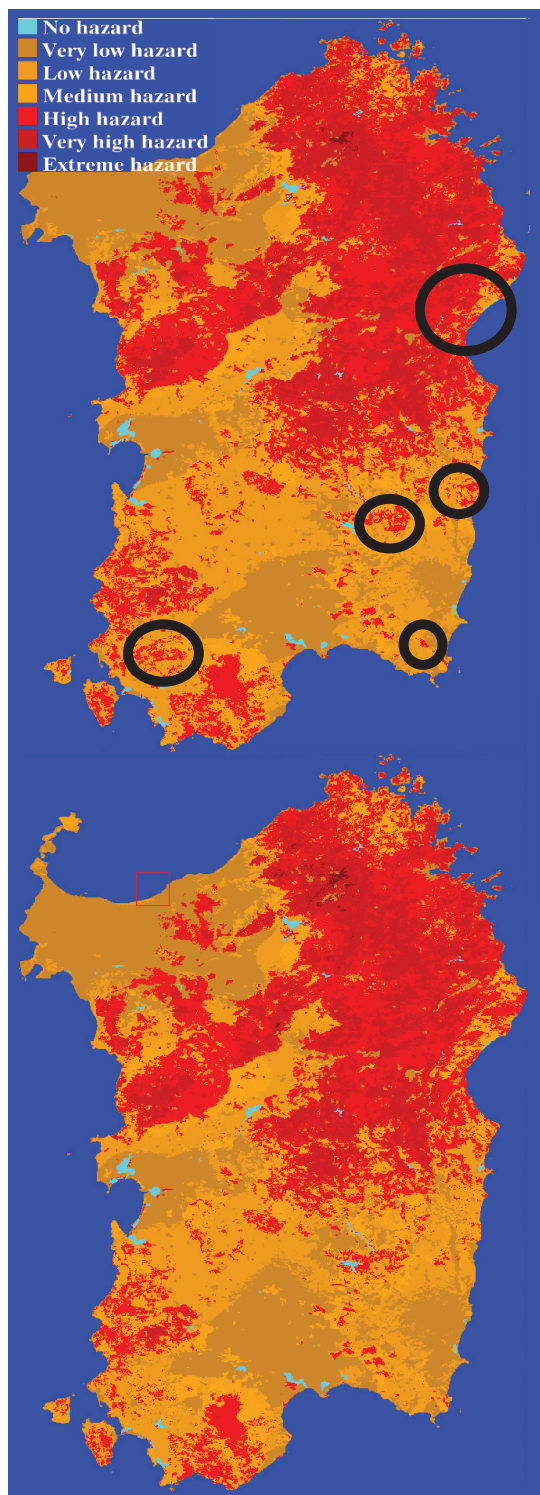


Fig. 6 - Comparison between DFHI maps computed from daily wind data (above) or assuming a constant wind speed of 2 m/sec (below). Black circles highlight the main differences in the areas of high, very high or extreme danger.

Fig. 6 - Comparação entre os mapas DFHI calculados com dados diários de vento (imagem superior) ou assumindo um valor de velocidade de vento constante de 2 m/s (imagem inferior). Os círculos pretos destacam as principais diferenças nas áreas classificadas como perigo alto, muito alto ou extremo.

the fuel types developed by Anderson for United States to the European context. The status of the vegetation is computed by estimating its greenness through a vegetation index (NDVI) computed with the temporal frequency and spatial resolution allowed by the exploited satellite sensor (daily at 250 m with MODIS, bi-weekly at 30 m with LANDSAT/OLI and every five days at 10 m with the Sentinel-2 constellation).

Now, more specifically, going to the better analyze the potential advantage of using high spatial resolution images (Landsat 8 in the present case), fig. 8 shows a detail of the DFHI map computed by using a Landsat8 image acquired on 3rd of September 2016. The map computed using L8 image is compared with the one computed by using MODIS image of the same day. The MODIS based map has been resampled to 30 meters by using a nearest neighbor sampling method, that is all the 30 m pixels which fall in the 250m pixel assume the same DFHI value of the MODIS pixel.

Superimposed on the maps are the polygons corresponding to the Class 1 of the 2012 Corine Land Cover (CLC) map. The Class 1 corresponds to *Artificial Surfaces* which include: urban areas (CLC code 1.1), industrial, commercial and transport units (CLC code 1.2), mines and dumps (CLC code 1.3), artificial non-agricultural vegetated areas (CLC code 1.4). Fig. 8 shows as the increased detail of the DFHI map based on Landsat8 image could be useful in detecting small areas of high fire hazard around urban areas or human assets. This information can be exploited to increase control of such areas or identify intervention areas to reduce the fuel load.

Fig.s 8 and 9 allow to state:

- The effort needed to compute daily maps of DFHI for a whole region like Sardinia could be unsuitable for the use of high resolution images. In fact, in that case the area of interest could request several days to be covered by the sensor (fig. 9) and the revisit frequency sometime could be incompatible with the rapid change of the NDVI of natural vegetation areas in summer.
- A high resolution DFHI map could be useful for monitoring/forecasting fire hazard conditions in critical areas (fig. 8) like natural parks, wild urban interface (WUI) areas, etc.

Conclusion

The paper aims at describing the progress made in the development of a daily fire hazard index capable to capture at the best the meteorological and vegetation conditions which, when a fire has been ignited negligently or deliberately, determine its propagation. The evolution of the DFHI index developed in the framework of the SIGRI and PREFER projects concerns the analysis of the possibility to produce accurate maps by using high resolution satellite images and devising a way to introduce the wind speed maintaining the definition of the fire hazard as given in R. Burgan, 1998 and A. Lopez, 2002.

Taking into account the high variability of the NDVI (vegetation greenness) during the summer period and the time span needed to completely cover, using high resolution images (20 - 30 m), a region as large as

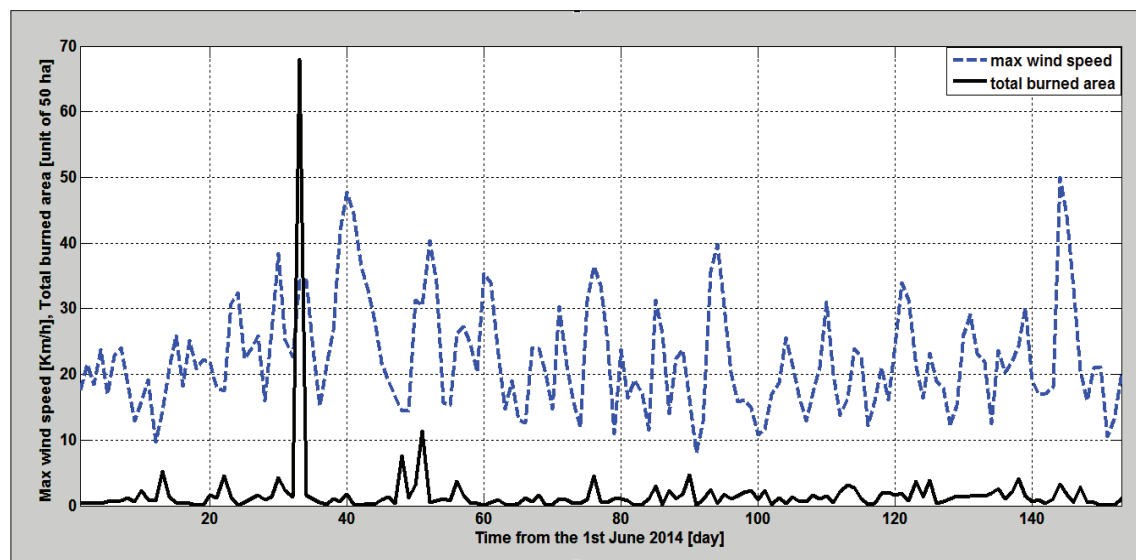


Fig. 7 - 2014 fire season. Daily comparison between the maximum wind speed in the AOI and the total burned area. As expected, there is a certain correlation. For reasons of graphic display, the total burned area [in ha] was divided by 50.

Fig. 7 - Época de incêndios de 2014. Comparação diária entre a velocidade máxima do vento na área de teste e o total de área ardida. Verifica-se, como esperado, uma certa correlação. Por razões de visualização gráfica, o total de área ardida (em hectares) foi dividido por 50.

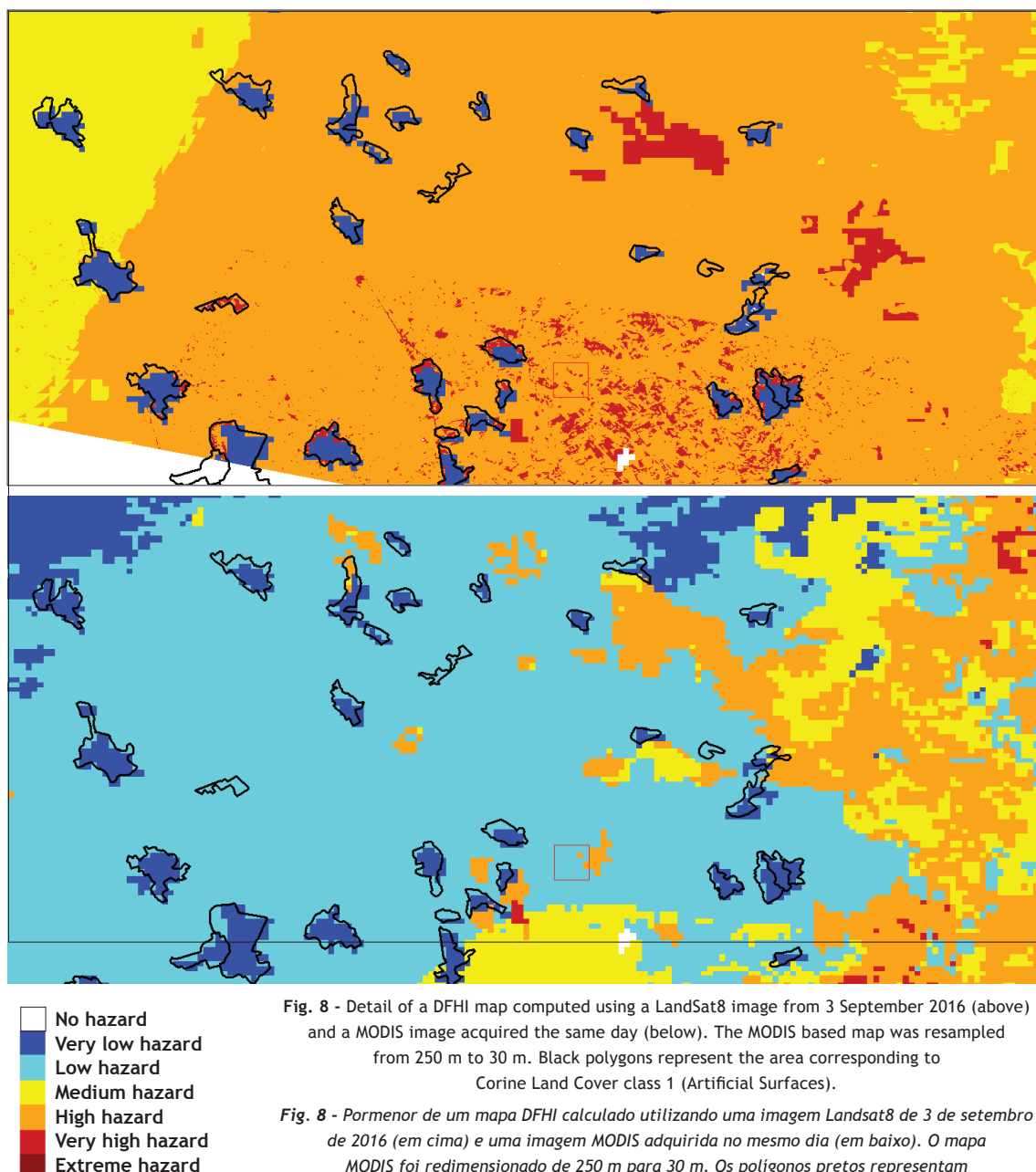


Fig. 8 - Detail of a DFHI map computed using a Landsat8 image from 3 September 2016 (above) and a MODIS image acquired the same day (below). The MODIS based map was resampled from 250 m to 30 m. Black polygons represent the area corresponding to Corine Land Cover class 1 (Artificial Surfaces).

Fig. 8 - Pormenor de um mapa DFHI calculado utilizando uma imagem Landsat8 de 3 de setembro de 2016 (em cima) e uma imagem MODIS adquirida no mesmo dia (em baixo). O mapa MODIS foi redimensionado de 250 m para 30 m. Os polígonos pretos representam a área correspondente à classe 1 do Corine Land Cover (Superfícies Artificiais).

Sardinia (24090 km²) it seems unsuitable to use a high spatial resolution DFHI. Having a 30 m spatial resolution DFHI could be useful to monitor/forecast fire hazard in limited areas as natural parks, protected areas and WUI zones. Possibly, using Sentinel-2 images will solve the problem of image refresh frequency, thanks to the larger sensor swath and orbit revisit frequency. However, in that case a new problem related to the dimensions (in MB) of the maps (10 m spatial resolution) to manage will arise.

References

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. *Irrigation and Drainage paper*, N. 56, FAO, Rome.
- Anderson, H. E. (1982). Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, *Intermountain Forest and Range Experiment Station*. 22.

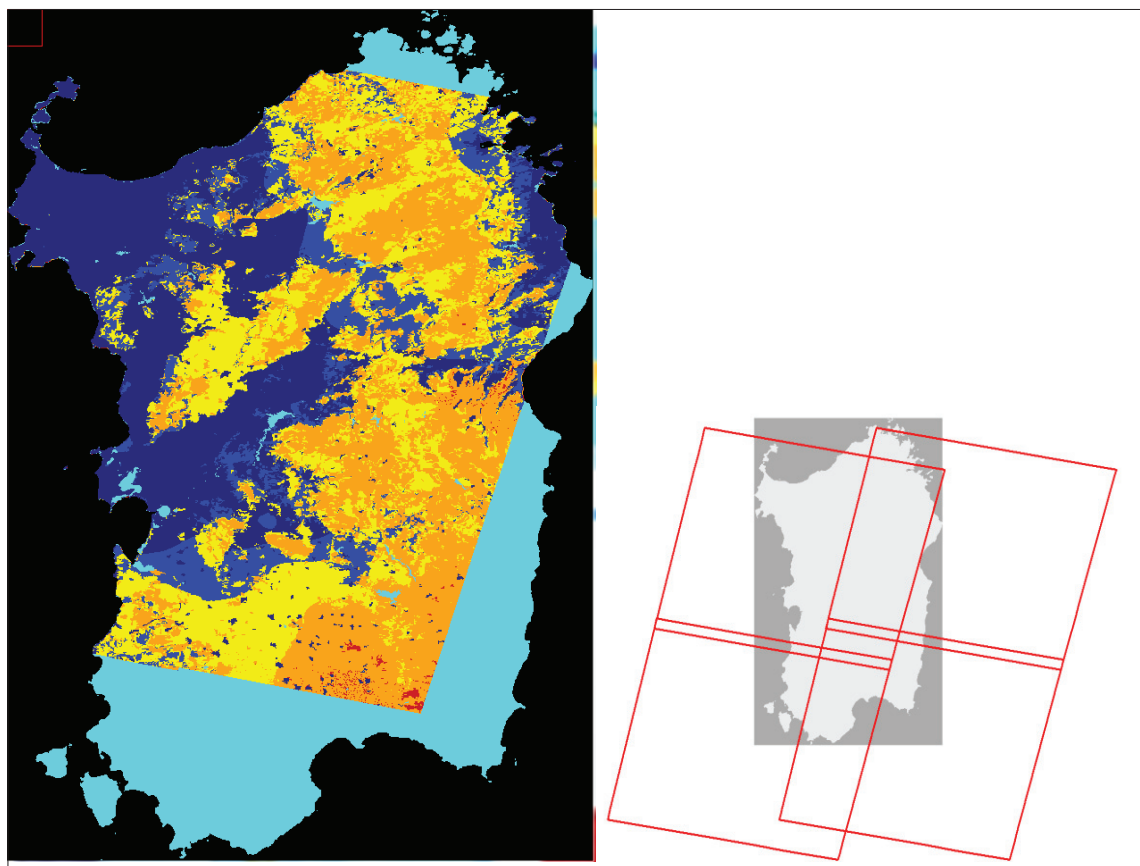


Fig. 9 - DFHI map for the area of interest computed using a single Landsat 8 image (row 32, path 193) compared with the whole island of Sardinia (A); Footprint of the Landsat images needed to almost completely cover the Area of Interest. Due to the orbital characteristics of the satellite, there is a 7-days' gap between the acquisition of the images of the left and right parts of the area (B).

Fig. 9 - Mapa DFHI para a área de interesse, calculado usando uma única imagem Landsat 8 (row 32, path 193) em comparação com a totalidade da ilha da Sardenha (A); Seleção das imagens Landsat necessária para cobrir quase toda a área de interesse. Devido às características orbitais do satélite, as imagens que cobrem a parte esquerda da área são adquiridas com 7 dias de diferença das imagens da parte direita (B).

Burgan, R. E., Hartford, R. A. (1993). Monitoring Vegetation Greenness with Satellite data, *General Technical Rep. INT-297*, USDA Forest Service.

Burgan, R. E., Klaver, R.W., Klaver, J. M. (1998). Fuel models and fire potential from satellite and surface observations. *Int. J. Wildland Fire*, 8 (3), 159-170.

Drouet, J. C., and Sol, B. (1993). Mise au point d'un indice numerique de risque meteorologique d'incendies de forêts, *Forêt Méditerranéenne* 14(2), 155-162.

Heidorn, K. C. (1998). *Canadian Fire Weather Index*, PhD work.

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. and Ferreira, L.G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS Vegetation Indices. *Remote Sens. Environ.* 2002, 83, 195-213.

Gobron, N., Pinty, B., Verstraete, M. M., and Widlowski, J. L. (2000). Advanced vegetation indices optimized for up-coming sensors: Design, performance, and

applications. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38, 2489-2505.

INMG- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA (1988). *Nota explicativa sobre o Índice de Risco Meteorológico de Incendios Rurais*, Divisão de Meteorologia Agrícola, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.

ICONA (1993). *Manual de operaciones contra incendios forestales*. Madrid, 5.1/65.

Laneve, G. and Cadau, E. (2007). Quality assessment of the fire hazard forecast based on a fire potential index for Mediterranean area by using a MSG/SEVIRI based fire detection system, *Proceedings of IEEE IGARSS 2007*, 2447-2450

DOI: <http://doi.org/10.1109/IGARSS.2007.4423337>

Laneve G., Jahjah M., Ferrucci F., Hirn B., Battazza F., Fusilli L., de Bonis R. SIGRI Project (2014). Products Validation Results, *IEEE J. of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. Vol. 7, 3, 895-905.

- Laneve, G., Bernini, G., Fusilli, L., Marzialetti, P. and Hirn, B. (2016a). Satellite-based products for supporting forest fires prevention and recovery in Europe, *IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 1-6
DOI: <http://doi.org/10.1109/EEEIC.2016.7555460>
- Laneve, G., Fusilli, L., and Bernini, G. (2016b). Achievements of the PREFER project in the prevention phase of the forest fire management, *Proc. IGARSS 2016*, 10 - 15 July 2016, Beijing, 5765-5768
DOI: <http://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730506>
- López, A., San-Miguel-Ayanz, J., Burgan, R. E. (2002). Integration of satellite sensor data, fuel type maps and meteorological observations for evaluation of forest fire risk at the pan-European scale. *Int. J. Remote Sensing*, 23 (13), 2713-2719.
- Nelson, R. M. (2000). Prediction of diurnal change in 10-hour fuel moisture content, *Canadian Journal of Forest Research* 30, 1071-1087.
- Rothermel, R. D. C., Wilson, R. A., Morris, G.A., Sackett, S. S. (1986). Modeling moisture content of fine dead wildland fuels: input to BEHAVE fire prediction system, USDA Forest Service, *Research Paper INT-359*, Intermountain Research Station, Odgen, Utah.
- San-Miguel-Ayanz, J., Barbosa, P. M., Schmunk, G., Libertà, G. (2003). The European Forest Fire Information System (EFFIS). In *Proceedings of the Joint Workshop of Earsel SIG and GOFCC/GOLD: Innovative Concepts and Methods in Fire Danger Estimation*, Belgium, June.
- Ventura, F., Marletto, V., Zinoni, F. (2001). Un metodo per il calcolo dell'indice meteorologico del rischio di incendio forestale, Sherwood, *Foreste e alberi oggi*, 7(6), 13-16.

(Página deixada propositadamente em branco)



RISCOS



MODELO CONCEITUAL DE SISTEMA DE ALERTA E DE GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES ASSOCIADOS A INCÊNDIOS FLORESTAIS E DESAFIOS PARA POLÍTICAS PÚBLICAS NO BRASIL*

43

CONCEPTUAL MODEL OF DISASTER RISK MANAGEMENT AND WARNING SYSTEM ASSOCIATED WITH WILDFIRES AND PUBLIC POLICY CHALLENGES IN BRAZIL

Liana Oighenstein Anderson

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Cemaden (Brasil)
ORCID 0000-0001-9545-5136 liana.anderson@cemaden.gov.br

Victor Marchezini

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Cemaden (Brasil)
ORCID 0000-0002-1974-0960 victor.marchezini@cemaden.gov.br

Thiago Fonseca Morello

Universidade Federal do ABC (Brasil)
ORCID 0000-0001-6794-1815 fonseca.morello@ufabc.edu.br

Christopher Alexander Cunningham

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Cemaden (Brasil)
ORCID 0000-0002-2235-8383 christopher.castro@cemaden.gov.br

RESUMO

O aumento na ocorrência e de frequência de secas extremas tem ocasionado o aumento no número de desastres associados a incêndios florestais em todo o planeta. Neste artigo, buscamos contextualizar os incêndios florestais no âmbito de desastres socioambientais propondo uma estruturação de um sistema de gestão e de alerta de risco para este tipo de evento. Sugere-se a estruturação deste sistema baseado em cinco eixos principais, sendo eles: conhecimento do risco, monitoramento, educação e comunicação, capacidade de prevenção e capacidade de resposta. Em seguida, realizamos uma análise diagnóstica sobre as instituições, atribuições, responsabilidades e ações do governo brasileiro, nos níveis federal e estadual, em relação à gestão de riscos de incêndios florestais. Identifica-se a falta de uma regulamentação política e legal sobre as responsabilidades e estratégias para mitigar os riscos e impactos destes eventos. A partir dessa análise sobre as ações atuais, apontam-se alguns desafios à gestão integrada de risco de incêndios florestais no Brasil.

Palavras-chave: Ameaças, vulnerabilidades, capacidades de prevenção e de resposta.

ABSTRACT

The increase in the occurrence and frequency of extreme droughts has increased the number of disasters associated with wildfires worldwide. In this paper, we aim to contextualize wildfires in the scope of socioenvironmental disasters, proposing a management and alert risk system structure for this type of event. It is suggested that this system should be structured based on five main axes, being: risk knowledge, monitoring, education and communication, capacity of prevention and capacity of response. Then, we present a diagnostic analysis about the Brazilian institutions, attributions, responsibilities and governmental actions on the wildfires risk management. It is identified the lack of a legal and political regulation over the responsibilities and strategies for mitigating risks and impacts of this type of event. Based on this analysis, we point out the challenges for the wildfire risk management in Brazil.

Keywords: Hazards, vulnerabilities, prevention and response capacities.

* O texto deste artigo foi submetido em 27-12-2017, sujeito a revisão por pares a 02-05-2018 e aceite para publicação em 25-09-2018.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 26 (I), 2019, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

Os eventos climáticos extremos estão previstos para aumentar em intensidade e frequência (IPCC, 2012). Uma das consequências de secas extremas é a ocorrência de incêndios florestais. Entre 2015 e 2018, diversos desastres associados a incêndios florestais foram registrados pela mídia global, sugerindo uma intensificação destes eventos e de seus impactos socioambientais e económicos. Artigos científicos quantificando os diferentes tipos de impactos associados aos eventos recentes estão começando a emergir para a região Amazônica (Aragão *et al.*, 2018, Costa *et al.*, 2018), Estados Unidos (Stevens-Rumann *et al.*, 2017), Portugal (Carvalho *et al.*, 2018, Lourenço, L, 2018), Indonésia (Atwood *et al.*, 2016), dentre outros. A gestão do risco de ocorrência destes grandes eventos de fogo descontrolado demanda a estruturação de uma cadeia de responsabilidades e de comunicação, abrangendo desde a escala nacional até a local (Gill, 2005). Parte dessa estrutura pode ser composta por sistemas de alerta de risco de desastres, que têm sido recomendados pelo Escritório da ONU para redução de desastres (UNISDR) como um componente importante das estratégias em redução de risco de desastres (RRD), identificadas, por exemplo, nos Marco de Ação de Hyogo - HFA (UNISDR, 2005) e Marco de Ação de Sendai - SFDRR (UNISDR, 2015). De modo geral, um sistema de alerta pode ser definido como um conjunto de capacidades necessárias para gerar e disseminar, com antecedência e formato adequados, informações que possibilitem que indivíduos, comunidades e organizações vulneráveis a desastres possam se preparar e agir para reduzir a probabilidade de ocorrer danos e/ou perdas (UNISDR, 2004, 2005, 2006a,b). Essas estruturas têm se ampliado nos anos recentes como um desdobramento do novo paradigma de gestão de risco de desastres (Lavell & Maskrey, 2014).

O risco pode ser definido a partir da relação entre ameaça(s), vulnerabilidade(s) e as capacidades de prevenção e resposta(s). A ameaça pode ser de origem natural (terremoto, furacão, tsunami, seca, chuva, cheia de rios, etc.), biológica (vírus, bactérias etc.), antrópica (fogo descontrolado, corte de taludes em áreas de grande declividade) e tecnológica (radioatividade, vazamentos químicos, barragem mal-feita etc.). Já a vulnerabilidade é conceituada, em termos gerais, como o potencial de sofrer danos (Romero & Maskrey, 1993; Wisner, 2016). Situações de vulnerabilidade se produzem por relações que se materializam no território, que não são estáticas, e que podem se acumular progressivamente, mudar, intensificar-se diante de crises económicas e socioambientais, atingir classes sociais de modo distinto, em escalas espaço-temporais diversas (Marchezini, 2015). As capacidades de prevenção e de resposta são de certa forma o oposto da vulnerabilidade. Pode-se entender que a capacidade

de prevenção contempla políticas públicas que visam a mitigação de riscos como programas de governo que agem directamente nas ameaças e vulnerabilidades, enquanto que a capacidade de resposta são as habilidades, recursos e ações que uma sociedade ou órgão tem para responder ao evento deflagrado, principalmente por meio do combate a incêndios, divulgação de informação, treinamento de brigadistas.

Apesar dos marcos internacionais para redução de risco de desastres (UNISDR, 2005; 2015) não mencionarem a problemática dos desastres associados a incêndios, estudos demonstram que este é um risco crescente em países como o Brasil (Aragão *et al.*, 2018, Costa *et al.*, 2018). Entretanto, ainda não existe uma estratégia nacional de gestão de risco para este tipo de desastre no país. A partir de 2015, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), em parceria com o Instituto de Mudanças Climáticas e Regulação de Serviços Ambientais do Estado do Acre (IMC), iniciaram um acordo de cooperação técnica para desenvolver acções nesse sentido, envolvendo não somente gestores públicos, mas também universidades e comunidades. Neste artigo compartilhamos alguns resultados dessa experiência em curso, ressaltando aspectos identificados em fontes documentais e em pesquisas de campo, de modo a subsidiar a estruturação de um sistema de alerta e gestão de riscos e desastres associados a incêndios. Primeiramente apresentam-se os conceitos fundamentais e as contribuições científicas no tema de sistemas de alerta em seus quatro eixos fundamentais - conhecimento do risco, monitoramento, comunicação e capacidade de resposta (Basher, 2006; Villagran de León, 2012; Garcia & Fearnley, 2012; Kelman & Glantz, 2014; UNISDR, 2005; 2006; 2015). Em seguida, propõe-se uma representação de uma estrutura do sistema de alerta e gestão dos riscos e desastres associados a incêndios florestais, trazendo como ponto de inovação uma modificação do eixo capacidade de resposta, reconceituado como capacidade de acção, que contempla capacidade de prevenção e capacidades de reação e resposta. Na terceira seção, identificam-se as estruturas e atribuições de responsabilidades no Brasil. A partir da sistematização destas informações que se encontram pulverizadas em múltiplos níveis de governo e grupos de atores, apresenta-se uma visão conjunta da situação actual, bem como se identificam limitações do sistema de alerta vigente. Por fim, são apresentadas as conclusões e recomendações para novos estudos e políticas públicas no tema.

Métodos

A pesquisa que subsidiou a formulação deste artigo, de natureza interdisciplinar, teve como base a revisão bibliográfica sobre sistemas de alertas e gestão de risco de desastres associados a incêndios, bem como a realização, entre 2016-2018, de três pesquisas de campo no Estado

do Acre, Brasil, como parte das actividades de um acordo de cooperação técnica, entre o Cemaden e o Instituto de Mudanças Climáticas e Regulação de Serviços Ambientais do Estado do Acre (IMC), para aprimoramento de um sistema de alerta e resiliência a desastres. A pesquisa também envolveu a coleta e análise documental de publicações governamentais - níveis federal, estadual e municipal - e não-governamentais no tocante a acções de prevenção e combate ao fogo na Amazônia brasileira, no período de 1994 a 2017, bem como a realização de entrevistas e consultas junto a gestores públicos - em cargos permanentes ou provisórios - da região. Essa pesquisa exploratória - identificadas no texto como “comunicações pessoais” desses gestores - também permitiu identificar alguns aspectos-chave de vulnerabilidade institucional que precisam ser investigados e analisados em maior profundidade, e foram utilizados nesse artigo no intuito de contribuir para reflexão sobre o modelo conceitual de sistemas de alerta. Além da utilização desses dados de natureza qualitativa também se fez uso e análise, de dados de sensoriamento remoto (Sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo do satélite Aqua) para contextualizar tanto a relação entre as actividades de desmatamento, queimadas e incêndios florestais e climas extremos na Amazônia (fig. 3), como a identificação de áreas críticas a partir dos dados de focos de calor acumulados no período entre 2001 e 2016 (fig.4). As análises e reflexões sobre esse conjunto de dados e informações permitiram elaborar, desde um ponto de vista interdisciplinar, um modelo conceitual de sistema de alerta e de gestão de riscos de desastres associados a incêndios, como também identificar limitações, lacunas de conhecimento e desafios em relação a dados e políticas públicas no tema.

Incêndios florestais no contexto de desastres: subsídios à estruturação de sistemas de alerta de gestão do risco

Em geral, o sistema de alerta é estruturado em função de quatro eixos fundamentais, quais sejam: conhecimento dos riscos, monitoramento e alerta, comunicação e capacidade de resposta (Basher, 2006; Kelman & Glantz, 2014; Unisdr 2005;

2006; 2015). No entanto, esta estruturação depende de uma série de factores, como a organização e comunicação entre órgãos e entidades directamente ligadas ao estudo, monitoramento e coordenação de acções em campo, e engloba questões técnicas, científicas, políticas e sociais. No âmbito de um sistema de alertas de gestão do risco de incêndios florestais, ainda não existe este encadeamento de acções e conexões necessárias para reduzir os riscos deste tipo de desastre. Por exemplo, Davies *et al.* (2008; 2009), Flynn *et al.* (2002), Kang *et al.* (2016), Amiro *et al.* (2004), Carvalho *et al.* (2008), San-Miguel-Ayanz *et al.* (2005) e Son *et al.* (2006) mencionam casos de sistemas de alerta para incêndios florestais que se focam somente no conhecimento da ameaça, ou se dedicam à detecção do foco de calor e/ou tratam da ameaça e da conexão entre a informação de ameaça gerada e a capacidade de resposta. No entanto, em nenhum dos estudos acima citados é apresentada uma visão abrangente e integradora das acções, como geralmente se propõe para a gestão integrada do risco de um desastre (Lavell, 1993; Basher, 2006; Garcia & Fearnley, 2012; Lavell & Maskrey, 2014).

Neste artigo, apresenta-se um modelo conceitual para a estruturação de um sistema de gestão do risco de incêndios florestais em cinco eixos, em que se identifica a necessidade de distinção conceitual entre as capacidades de prevenção e de resposta (fig. 1). Esta proposta baseia-se no conhecimento científico de quais deflagradores potenciais podem iniciar o processo de um incêndio florestal (Anderson *et al.*, 2017, Cunningham *et al.*, 2017, Fonseca *et al.*, 2016, Silva Junior *et al.*, 2018), mas também de resultados de pesquisas de campo junto a gestores públicos e comunidades na Amazônia brasileira (*Amazon Fire Synthesis workshop*, 2017), que permitem compreender as acções de resposta e as estratégias para lidar com os impactos directos e indirectos deste tipo de evento assim que ele se concretiza. Entende-se como impactos directos a queima de vegetação nativa, perda de produção agro-pecuária, danos em infra-estrutura, alteração na composição, estrutura e funcionamento

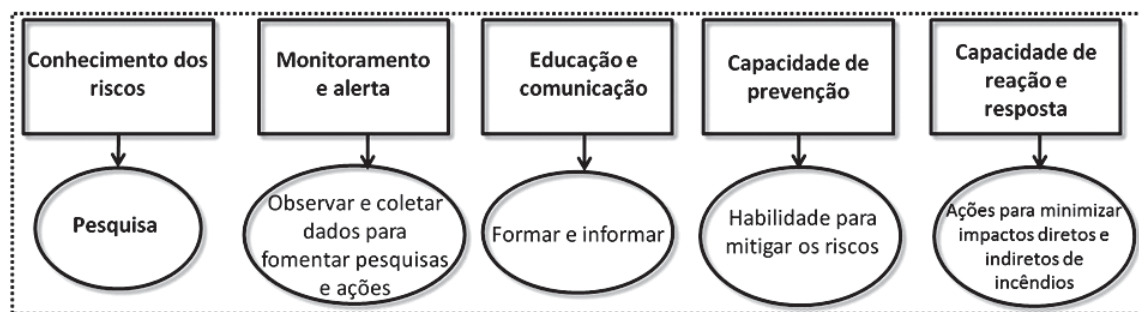


Fig. 1 - Estrutura dos cinco eixos do sistema de alerta para gestão do risco e desastres associados a incêndios florestais (caixas quadradas) e os inputs de cada área (círculo).

Fig.1 - The five axes of the disaster risk warning system for wildfires (square boxes) and the inputs of each area (circle).

da floresta, perda de produtos florestais madeiros e não madeiros, dentre outros. Já dentre os impactos indirectos podem ser consideradas as interações hospitalares por problemas respiratórios, interrupção de tráfego terrestre e aéreo, emissão de gases de efeito estufa, etc. Se, por um lado, os impactos dos incêndios florestais não são adequadamente quantificados, por outro, o conhecimento dos riscos deste tipo de evento ainda é insuficiente e incipiente.

O caso particular do risco focado neste artigo é o referente a incêndios florestais (fig. 2) para a Amazônia Brasileira (Anderson *et al.*, 2017, Aragão *et al.*, 2008, Cunningham *et al.*, 2017, Morello *et al.*, 2017a,b, Morello *et al.*, 2018, Rosan *et al.*, 2017). Quanto ao primeiro componente deste risco, a ameaça, trata-se de um factor heterogéneo pois é específico à cada região e características sociais, económicas e culturais da população que nela reside. Assim, as ameaças podem estar associadas a condições locais, tais como o uso de fogo na actividade agro-pecuária, umidade, temperatura, direcção e intensidade do vento, relevo, tipo de vegetação, tipo de solo, tipo de uso da terra, histórico de incêndios, relações entre ocorrências de incêndios e extremos climáticos, degradação florestal, presença de corte selectivo de madeira, dentre outros aspectos. Por exemplo, secas na região Amazônica só representam uma ameaça para a ocorrência de incêndios florestais se houver um agente deflagrador do fogo, ou seja o homem (Aragão *et al.*, 2007). Além disso, a concretização do incêndio requer que uma queimada conduzida pelo homem saia do controle, tornando-se um incêndio florestal. No início do século XXI, existia uma forte relação entre os processos de desmatamento e a ocorrência de queimadas e incêndios florestais (Aragão *et al.*, 2008). No entanto, com a ocorrência de secas extremas, como a de 2005 (Aragão *et al.*, 2007), de 2010 (Anderson *et al.*, 2015) e de 2015/16 (Aragão *et al.*, 2018), observou-se um

desacoplamento entre a ocorrência de desmatamento e de queimadas e incêndios florestais, indicando que secas extremas são ameaças deflagradoras destes eventos nesta região (fig. 3).

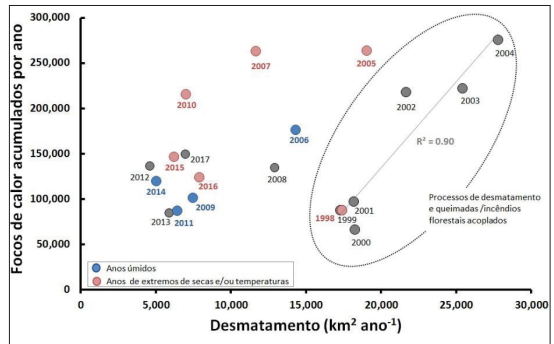


Fig. 3 - Relação entre a ocorrência de desmatamento, queimadas e incêndios florestais na Amazônia e anos de extremos climáticos. Entre 1998 e 2004 existe uma relação significativa ($p < 0.05$) entre a ocorrência de desmatamento e queimadas e incêndios florestais. Em 2005, 2007, 2010, 2015 e 2016, anos de extremos de secas, apesar da diminuição do desmatamento observa-se o aumento de ocorrência de focos de calor (Fonte: dados de desmatamento: PRODES/INPE; dados de calor de calor: CPTEC/INPE).

Fig. 3 - Relationship between deforestation, forest fires and burning in Amazonia and years of climatic extremes. Between 1998 and 2004 there was a significant ($p < 0.05$) relationship between deforestation and fire pixels. In 2005, 2007, 2010, 2015 and 2016, years of extreme drought or high temperatures, despite the decrease in deforestation, there is an increase in fire pixels (Source: deforestation data: PRODES/INPE; fire pixels: CPTEC/INPE).

Em outras regiões, como no Cerrado brasileiro, Chaparral da Califórnia ou nas grandes savanas da África, a ocorrência de incêndios florestais pode acontecer em consequência do ambiente estar favorável à ignição e propa-

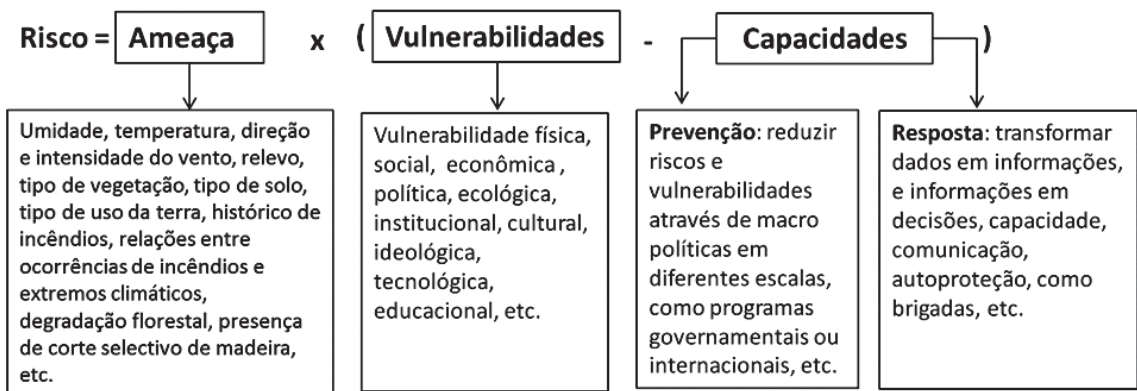


Fig. 2 - Detalhamento do entendimento do fator de riscos, conforme o conceito na área de desastres e seus exemplos para casos de incêndios florestais.

Fig. 2 - Details of the risk factor according to the concept in the disaster areas and examples for wildfire events.

gação do fogo devido a altas temperaturas ou a raios, ou seja, independente da presença da ameaça antrópica (Ramos-Neto & Pivelo, 2014, Moritz *et al.*, 2011, Skaper, 1992). Portanto, aumentar o conhecimento acerca dos extremos climáticos contribui para melhor gerenciar os riscos de desastres associados a incêndios florestais.

Ao perceber a importância da informação acerca do clima em sectores que são sensíveis a este (exemplos são segurança alimentar e desastres), a comunidade meteorológica internacional capitalizou esforços e criou o Global Framework for Climate Services (GFCS; WMO, 2014a). O propósito deste *framework* é justamente promover a disseminação e uso dos chamados *Serviços Climáticos*: informações sobre o clima observado e previsto, em multi-escala (dias, semanas, meses e anos), de forma a capacitar as instituições e os indivíduos a tomarem melhores decisões frente aos extremos climáticos. Vale ressaltar que o GFCS não desprezou a consolidação de conhecimentos correlatos. No eixo que relaciona os *Serviços Climáticos* aos desastres socioeconómicos houve o cuidado de alinhar o GFCS aos Marcos de Ação de Hyogo (UNISDR, 2005) e Sendai (UNISDR, 2015), reforçando o papel estruturante dos quatro eixos do sistema de alertas (WMO, 2014b).

Já a componente vulnerabilidade a incêndios florestais é de ordem complexa. Por exemplo, de uma forma mais restrita e directa, encontra-se na literatura a definição de vulnerabilidade como as consequências resultantes de um incêndio florestal (Chuvieco *et al.*, 2010). No contexto de incêndios florestais, a vulnerabilidade pode estar associada à: (i) vulnerabilidade física (inflamabilidade da paisagem); (ii) vulnerabilidade social (normas de monitoramento de queimadas e sanção a incêndios adoptadas por comunidades dependentes de fogo, brigadas de incêndio, grau de adoção de práticas de controle de queimadas, grau de acessibilidade a recursos financeiros ou de acesso físico de brigadistas caso ocorra um incêndio, etc.); (iii) vulnerabilidade económica (renda per capita, práticas produtivas substituídas à queimada, dependência do uso do fogo, dependência de produtos florestais madeireiros e não-madeireiros, seguros, título de propriedade da terra, exploração madeireira, desmatamento, etc.); (iv) vulnerabilidade política (presença de programas governamentais específicos para a gestão de incêndios florestais, planejamento fundiário como demarcação de unidades de conservação, assentamentos, áreas particulares, programas educacionais voltado para prevenção de incêndios florestais, presença de órgãos de fiscalização, dentre outros); e, (v) vulnerabilidade ecológica (composição e estrutura da floresta, grau de fragmentação da floresta, grau de degradação da floresta, etc.). Para a geração e análise de dados relacionados a vulnerabilidades frente a incêndios florestais, é necessário desenvolver uma abordagem multidisciplinar que contemple dados espaciais, censitários, sociais, económicos, políticos e ecológicos.

O segundo eixo do sistema de alerta refere-se às acções de monitoramento e alerta (fig. 1). O monitoramento de risco inclui actividades de colecta de dados e informações para identificar possíveis ameaças e situações de risco iminente, com o objectivo de subsidiar a emissão de alertas antecipados de provável ocorrência de desastres. Entre os dados e informações incluem-se os relacionados aos aspectos físicos, como aqueles associados à meteorologia, por exemplo, os totais de precipitação, descargas atmosférica, dentre outros. Mas, na equação do risco, também se insere a componente de vulnerabilidade, que geralmente não é objecto de monitoramento por parte dos sistemas de alerta (Kelman & Glantz, 2014).

As decisões relativas ao gerenciamento do risco de desastres são inerentemente multi-escala temporal. As alterações do clima que estamos vivenciando incitam a pensar em planejamentos de novas políticas décadas à frente, no intuito da gestão prospectiva de riscos (Lavell & Maskrey, 2014). No outro extremo, na iminência de um evento climático, como uma seca, que pode acentuar o risco de incêndios descontrolados, as decisões têm que ser tomadas na escala de tempo semanal ou até mesmo diária. Em consonância com esta realidade, a *International Research Institute (IRI)*, em cooperação com a *Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC)*, propuseram uma abordagem, no contexto de um Serviço Climático, que faz uso desta multidimensionalidade de escala: a abordagem “*ready-set-go*”. Nesta abordagem ocorre um contínuo monitoramento das informações climáticas desde a escala sazonal (3 meses), passando pela subsazonal (10 a 45 dias) até as previsões de tempo em médio prazo (até 10 anos). Para cada uma destas escalas monitoradas decisões estratégicas podem ser tomadas como, por exemplo, actualização de planos de contingência, reunião do corpo de voluntários, e comunicações à comunidade para prováveis acções de evacuação, dentre outros aspectos salientados por Braman *et al.* (2013), Thomson *et al.* (2006), Ceccato *et al.* (2007) e Lowe *et al.* (2011). Como o monitoramento de ocorrência de incêndios florestais é fortemente baseado em dados satelitais, as ocorrências podem ser detectadas a partir de focos de calor, que são anomalias de temperatura detectadas nos sensores de satélites ambientais, e indicam o fogo activo. Um segundo tipo de dado, também oriundo de satélites, é complementar aos focos de calor e refere-se às cicatrizes de áreas queimadas. Nestes dados, monitora-se a área impactada. Dependendo da disponibilidade de dados em tempo quase-real, o dado de área queimada pode ser utilizado para fins de monitoramento e alertas. No entanto, as acções de respostas baseadas em alertas de incêndios florestais são muitas vezes ineficazes dadas as características dos grandes incêndios florestais. Dentre elas, cabe destacar: a alta velocidade com que o fogo se alastra por grandes áreas; a baixa acessibilidade aos ambientes em que ocorrem; a dificuldade de controlar áreas queimando; a rápida alteração da direcção do

vento; número insuficiente de brigadistas; e até mesmo a distância de corpos de água utilizáveis para extinguir o fogo. Devido em grande parte aos desafios mencionados acima, os sistemas de monitoramento do risco de incêndios florestais têm se centrado na avaliação da probabilidade de ocorrência do evento. O *Wildland Fire Decision Support System*, voltado a servidores públicos dos Estados Unidos (Noonan-Wright *et al.*, 2011, WFSS, 2017), centra-se em medidas de risco construídas a partir de sensoriamento remoto. O *European Forest Fire Risk Forecasting System* (EFFRFS) utiliza a previsão meteorológica de três modelos (Camia *et al.*, 2014). O Sistema de Risco de Incêndios Continentais, desenvolvido pelo Instituto Português de Mar e Atmosfera (IPAM), baseia-se em um índice composto por seis variáveis meteorológicas e de previsões meteorológicas de até dois dias (Carvalho *et al.*, 2008). No Brasil, o modelo de risco de fogo, desenvolvido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, baseia-se tanto em dados observados de estações meteorológicas, quanto em dados de previsão do tempo, associados a um mapa de vegetação potencial da América do Sul (Setzer *et al.*, 2017). Esses sistemas concentram-se no conhecimento e monitoramento das ameaças, e ainda não contemplam os quatro eixos de alerta propostos pela literatura científica (Basher, 2006; Villagrán de León 2012; Garcia & Fearnley 2012; Marchezini *et al.*, 2017) e pelas recomendações da ONU (UNISDR 2004; 2005; 2006a; 2006b; 2015). Os autores aqui sugerem que aperfeiçoar esse sistema com cinco eixos estruturantes pode subsidiar ações de redução de risco de desastres associados a incêndios florestais.

Os aspectos de educação, comunicação e preparação para evacuação em incêndios têm sido analisados em alguns estudos, que destacaram as capacidades diferenciadas das comunidades em se prepararem (Paveglio, Carroll & Jakes, 2010), considerando as relações de gênero e suas implicações na tomada de decisão (Tyler & Fairbrother, 2018), e os desafios de implementar sistemas de alerta de incêndios (Edgeley & Paveglio, 2016). Dentre esses desafios está o processo de comunicação de risco. A comunicação de riscos se refere às ações que visam informar e notificar diversos atores sociais como agentes públicos dos diferentes níveis de governo e sectores (emergência, saúde, transporte), comunidades expostas e organizações que atuam e/ou se encontram em uma determinada escala espacial (país, estado, região, município, bairro, escolas) e temporal (época do ano, meses, dias, períodos do dia, horário do dia), acerca dos possíveis riscos (ameaças e vulnerabilidades). No contexto de incêndios florestais, podem-se identificar algumas limitações referentes à educação e comunicação do risco. Por exemplo, muitas vezes os resultados de um modelo de probabilidade de ocorrência de incêndios, como os mencionados no parágrafo anterior, estão em uma escala espacial que dificulta a identificação de áreas prioritárias para planejamento e ações em campo. Isso acontece porque a maioria dos modelos são dependentes de entradas de dados meteorológicos, e as variáveis meteorológicas

cobrem áreas extensas. Um exemplo para ilustrar esta situação refere-se a áreas com um determinado número de dias sem chuva, uma das variáveis meteorológicas mais usadas nos modelos descritos acima, que podem abranger regiões com até centenas de quilômetros quadrados. O segundo ponto refere-se ao entendimento da informação de risco de incêndios florestais e a permeabilidade desta informação na sociedade civil e instituições interessadas. A probabilidade de ocorrência de incêndios florestais no Brasil, e acredita-se que em grande parte do mundo, é disponibilizada através de mapas de “riscos de incêndios” publicados em sítios da internet e muitas vezes enviados a órgãos de resposta. No entanto, essa informação raramente chega até os atores que são os deflagradores dos incêndios florestais devido às circunstâncias em que vivem. Na Amazônia brasileira, por exemplo, os incêndios florestais são fortemente associados a práticas de corte e queima da vegetação realizada por pequenos e médios proprietários rurais (Júnior *et al.*, 2008), que muitas vezes não têm acesso aos grandes meios de comunicação. Culturalmente as populações tradicionais da Amazônia têm o hábito de utilizar o fogo no final da estação seca, posto que a região é muito húmida e são necessários meses para que as condições da vegetação estejam favoráveis para queimar com menor custo e de forma mais eficiente. No entanto, devido ao intenso processo de desmatamento, aumento de borda e de fragmentos florestais e as práticas de queimadas de roças, pastagens e vegetações secundárias, as ameaças dos incêndios se intensificam em determinados locais e épocas do ano. Ainda no contexto da comunicação do risco, identifica-se que hoje há a presença de um novo elemento, exógeno à probabilidade de perda de controle da queima controlada, que são as secas extremas (fig. 3). Por exemplo, a seca prolongada de 2005 que atingiu a região de fronteira tri-nacional de *Madre de Dios* (Perú), Acre (Brasil) e Pando (Bolívia), conhecida como região do MAP, fomentou a ocorrência de grandes incêndios florestais, afectando mais de 300 mil hectares de florestas que resultou no aumento da poluição atmosférica, atingindo mais de 400 mil pessoas, e causando uma perda económica de mais de US\$ 50 milhões de dólares (Brown, F., 2006). Em muitos dos relatos locais, colectados durante duas viagens de campo ao Acre realizadas pelos autores deste artigo nos anos de 2016 e 2017, pequenos produtores rurais reconheceram mudanças do clima e a dificuldade em romper com práticas tradicionais como o corte-e-queima (Morello, T., comunicação pessoal). Contudo, tais interlocutores não mostraram clareza quanto ao fato de que as queimadas, conjugadas com secas, poderiam causar incêndios florestais de grande porte.

No eixo referente à capacidade de prevenção, incluem-se as formas de organização local e as estratégias políticas e legais adoptadas para mitigar os riscos, tais como a regulamentação do uso do fogo e alternativas às práticas dependentes do fogo. A existência ou não de organizações públicas, como Corpo de Bombeiros, Batalhão de Policiamento Ambiental

e Defesa Civil, também pode ser um fator fundamental na definição da capacidade de resposta às emergências. Grandes incêndios ocorreram em 2015 e 2016 na Amazônia (Aragão *et al.*, 2018), Canadá (Landis *et al.*, 2017), Indonésia (Atwood *et al.*, 2016) e em 2017 nos Estados Unidos e em Portugal. Em tais eventos, os grandes impactos directos e indirectos da queima expuseram as fragilidades que os sistemas de resposta têm para controlá-los. Dentro do entendimento do conceito de risco aqui proposto, pode-se associar estes eventos tanto à capacidade de prevenção e de reacção, sendo que a primeira inclui o planeamento de acções mitigatórias. Em termos de capacidade de acção é necessário um maior envolvimento da sociedade tanto em actividades de treinamento e entendimento das ameaças, quanto na implementação de novas políticas públicas e acções que visem diminuir a probabilidade que uma situação de risco se torne um desastre. É preciso investir em acções de prevenção, melhorar a comunicação e entendimento das ameaças, vulnerabilidades e impactos, treinar agentes locais, implementar políticas públicas para minimizar o uso de fogo por populações tradicionais, dentre outros aspectos.

O esforço de análise e articulação desses componentes de um sistema de alerta também demanda a compreensão de como se estruturam estratégias para gerenciar os riscos de desastres associados a incêndios, principalmente quando a ocorrência destes eventos são em locais heterogéneos em termos ambientais, sociais e culturais, recobrando grande parte todo território nacional (fig. 4). Apesar da região do bioma Amazônia estar localizada nos trópicos e portanto ter períodos de chuvas intensas, é onde observa-se também a maior ocorrência de focos de calor.

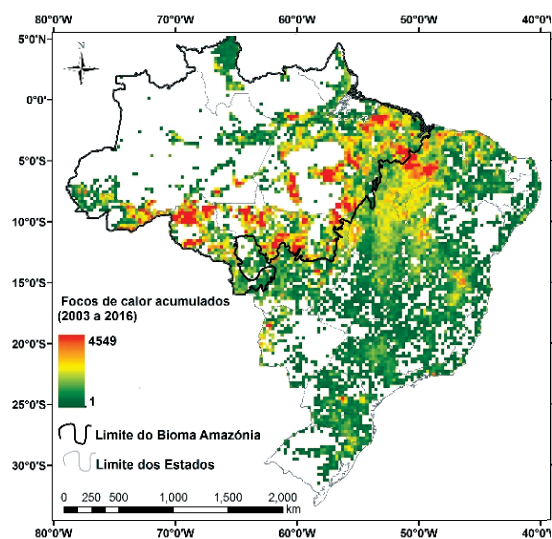


Fig. 4 - Número de focos de calor do sensor MODIS a bordo do satélite Aqua, filtrados por nível de confiança acima de 30 %, acumulados entre 2003 e 2016 para o Brasil.

Fig. 4 - Cumulative fire pixel count derived from MODIS on board the Aqua satellite, filtered for confidence level above 30 %, from 2003 to 2016 in Brazil.

Na próxima seção identifica-se a estrutura organizacional do Brasil referente a incêndios florestais, evidenciando alguns acções relacionadas a capacidades de prevenção e reacção para a gestão de riscos.

Diagnóstico do Brasil: instituições, atribuições, responsabilidades e acções dos governos federal e estaduais na gestão de riscos

Organizações são fundamentais para planejar e implementar acções em um sistema de alerta e de gestão dos riscos e de desastres associados a incêndios florestais. A partir da pesquisa e análise documental, foram identificadas as instituições e acções realizadas no nível de governo - federal e estadual - mas também pela sociedade civil, por meio de ONGs que têm realizado iniciativas no tema. As subsecções a seguir sintetizam parte desse levantamento cujos dados e informações encontram-se dispersos.

Governo federal

A actuação do governo federal se restringe a terras federais, especificamente aos assentamentos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra), às unidades de conservação administradas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), às terras indígenas de responsabilidade da Fundação Nacional do Índio (FUNAI) e florestas públicas. Além do próprio ICMBio, o governo federal atua também por meio do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), na figura do Sistema Nacional de Prevenção e Controle de Incêndios Florestais (Prevfogo). O Prevfogo tornou-se um centro especializado em 2001, adquirindo autonomia gerencial, administrativa e financeira. As acções do governo federal focalizam os incêndios florestais e se subdividem em duas categorias, acções *ex-ante*, voltadas à prevenção de tais eventos, e acções *ex-post*, voltadas ao combate de eventos que efectivamente se manifestam. As duas categorias se enquadram no sistema de alerta e de gestão dos riscos e de desastres aqui proposto como, respectivamente, acções de prevenção e de reacção.

Dentre as acções de prevenção de incêndios (*ex-ante*) realizadas pelo governo federal se incluem: (i) monitoramento de eventos de focos de fogo, feito de forma remota, via satélite, mas também *in situ* com rondas preventivas; (ii) concessão de autorizações de queima controlada, actualmente restrita a áreas do ICMBio, bem como o acompanhamento da realização da queima controlada; (iii) abertura e manutenção de aceiros, que são espaços desprovidos de combustível e, portanto, barreiras à propagação do fogo; (iv) apoio a órgãos estaduais em fiscalização de queimadas e difusão de práticas agro-pecuárias livres de fogo, destacando-se a adubação verde e os sistemas agro-florestais; e, (v) acções educativas voltadas prioritariamente a comunidades de

pequenos produtores, como assentamentos, quilombolas, unidades de conservação, e também a escolas, envolvendo aulas, sessões de trabalho em grupo e entrega de material escrito (Prevfogo, 2013, 2015).

Já as acções de combate de incêndios (*ex-post*) são realizadas por brigadas especialmente qualificadas. Há categorias de brigadas, que se diferenciam em função da abrangência e especialização do treinamento e tempo de preparação dos membros. A categoria de maior nível de preparo é denominada por “*tiro quente*”, uma brigada especializada (Prevfogo, 2013, Prefsfogo-OPA, 2015). Em contraste, a categoria de menor nível de preparo é constituída após duas semanas de treinamento (Prevfogo-OPA, 2015). Há também brigadas indígenas, formadas por populações tradicionais e assentados, as quais são treinadas com auxílio do Prefsfogo. As áreas-alvo para combate pelo governo federal compreendem unidades de conservação federais, estaduais e municipais, prioritariamente as de protecção integral e uso sustentável, e também áreas de preservação permanente e reservas legais, terras indígenas, florestas públicas e áreas florestais (Prevfogo, 2017). Em áreas ocupadas por comunidades tradicionais, assentados da reforma agrária, e no restante dos espaços rurais e urbanos, é dado apoio, ou seja, o combate ocorre em colaboração com brigadas locais (Prevfogo, 2017).

O planeamento das acções de posicionamento das brigadas é definido com base na distribuição de focos de calor detectados por satélite ao longo das terras federais de todo o território nacional, dando-se prioridade a locais com maior concentração de observações. Em um primeiro estágio são identificados os estados prioritários, entendidos como aqueles cujo número de focos de calor em áreas florestadas excede um limiar (2.000 focos de calor em cinco anos, p.ex., Prefsfogo, 2013). Em um segundo lugar, são definidas as áreas de actuação das brigadas de cada estado em conjunto com as coordenações estaduais do Prefsfogo (Prevfogo, 2013).

O Ibama também tem realizado a operação Apoená, voltada à prevenção de incêndios em áreas e períodos em que a probabilidade de tais eventos é alta. Trata-se de um misto de notificação a proprietários fundiários quanto às práticas preventivas a serem adoptadas e à proibição da queimada, de apoio para execução das práticas de fiscalização e sanção a violações.

Governos estaduais e municipais

As acções de prevenção e combate desenvolvidas pelos estados se assemelham às do governo federal, com algumas diferenças como, por exemplo, em relação às áreas-alvo - no caso, terras do governo estadual, incluindo áreas de conservação estaduais e municipais. Outra diferença entre as atribuições dos diferentes níveis

de governo está na responsabilidade de concessão de autorizações de queimada, que é quase integralmente dos estados e municípios, com excepção das unidades de conservação federais, de responsabilidade do ICMBio.

A terceira diferença está na maior importância dada para acções de prevenção, especialmente àquelas vinculadas a políticas públicas agro-pecuárias, ambientais e de desenvolvimento rural. Isso significa actuar directamente nas causas da ameaça de incêndio, fomentando a utilização da terra que prescindia das queimadas. Isso tem sido feito com o suprimento de máquinas agrícolas e apoio técnico e financeiro a actividades e técnicas de menor impacto ambiental tais como pesca, extrativismo florestal e sistemas agro-florestais. Esta integração de prevenção de incêndios e programas de desenvolvimento tem sido praticada de maneira sistemática pelo governo do Acre, sudoeste da Amazônia brasileira, por meio dos programas de certificação de propriedades rurais, actualmente em finalização (Seaprof, 2017). Outros exemplos de programas estaduais para diminuição da ocorrência de incêndios florestais são o “plano de acção para prevenção e controle do desmatamento, queimadas e incêndios florestais” do Estado do Mato-Grosso, o “plano estadual de prevenção e controle, e combate às queimadas e incêndios florestais”, do estado do Acre e o “programa de protocolos regionais e municipais de prevenção e combate ao fogo”, do Estado do Tocantins.

Alguns governos estaduais e municipais disponibilizam tractores a comunidades de pequenos produtores geralmente localizadas em assentamentos agrários do Incri, o que pode vir ou não acompanhado de apoio financeiro para a compra de fertilizantes e para o transporte destes insumos à comunidade. Há pelo menos dois objectivos desta acção: promover a substituição de queimadas por tractores e aumentar a produtividade da pequena produção (Morello *et al.*, 2018b). Em Rio Branco, no Acre, a Secretaria de Agricultura e Floresta (Safra) tem como meta fornecer tractores e operadores para o preparo mecanizado de 800 hectares por ano, o que tem sido cumprido. Em 2015, 819,98 hectares foram preparados e um total de 964 famílias de pequenos agricultores atendidas. Tais números foram, em 2017, de 977,1 hectares e 848 famílias (Safra, 2015 e 2016). Nesse tipo de programa, o combustível dos tractores deve ser custeado pelos produtores. Iniciativa semelhante ocorre no município de Paragominas, no Estado do Pará, por meio do projecto “Terra Mecanizada” (SEMAGRI, 2017).

Há também iniciativas voltadas a desestimular as queimadas por meio de acções de “comando-e-controle”, as quais estabelecem um limite ao uso do fogo, fiscalizam o cumprimento do limite e aplicam sanções às transgressões. Quanto a isso, a ampliação da cobertura do Cadastro Ambiental Rural (CAR) tem possibilitado uma fiscalização mais precisa. Na região Norte do Brasil,

em que se concentra a maior parcela da Amazônia Legal, todos os imóveis rurais foram cadastrados (SFB, 2017). No Acre, a portaria normativa 004 de 2013 proíbe as queimadas, excepto para agricultores familiares, os quais podem queimar uma área de no máximo um hectare por ano. Tal norma decorreu da tentativa de proibir completamente as queimadas em 2012, o que mostrou ter um alto custo social por ameaçar a segurança alimentar dos agricultores familiares de subsistência. No estado do Mato Grosso, pelo menos desde 2015, queimadas rurais têm sido proibidas no período mais seco do ano, geralmente de 15 de Julho a meados de Outubro. Já queimadas urbanas são incondicionalmente proibidas (MT, 2015, 2016 e 2017).

É importante destacar outras iniciativas que buscam gerir o risco a partir de diferentes enfoques. As acções de assistência técnica e extensão rural desenvolvidas por órgãos estaduais como as Empresas de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATERs) são importantes vias de redução do custo de substituição das queimadas. Estes órgãos qualificam os pequenos produtores em práticas alternativas ao corte-e-queima, como sistemas agro-florestais e adubação verde, bem como ensejam outras alternativas para geração de renda, como a pesca, a extracção de produtos florestais não-madeireiros e a silvicultura. Outra acção que procura incentivar a redução das queimadas é atrelar o repasse de parte da receita gerada por um imposto federal, o ICMS, aos municípios, à redução comprovada de detecções de fogo, o que é realidade no estado do Tocantins desde 2013 (Tocantins, 2013).

O papel de ONGs e de institutos de pesquisa

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em alguns casos em conjunto com organizações não-governamentais (ONGs), têm difundido práticas de cultivo agrícola que prescindem do uso de fogo sem, contudo, prescindir do recurso à vegetação secundária como principal fonte de nutrientes (pousio).

O programa “Tipitamba” da Embrapa disponibiliza a pequenos produtores uma alternativa de preparo da terra substituta à queimada. Tal alternativa foi elaborada como resultado de colaboração em pesquisa do início da década de 1990, o projecto SHIFT, que reuniu pesquisadores alemães das Universidades de *Göttingen* e *Bonn* e da EMBRAPA (Denich *et al.*, 2005). Trata-se de triturar, de maneira mecanizada, a vegetação de pousio. Isso é feito com um tractor especialmente desenhado para a tarefa, o qual corta e espalha os resíduos no solo, formando uma cobertura morta que é deixada para decompor e fertilizar a terra.

Técnicas manuais de preparo da terra, denominadas por “roça sem queimar”, também têm sido promovidas

tendo como alvo pequenos produtores e o cultivo de culturas anuais básicas (mandioca, feijão e milho) (Alves e Modesto Jr., 2009). A Fundação Viver, Produzir e Preservar (FPP), actuante na região da rodovia Transamazônica e do Xingu (Pará), têm promovido, desde 2000, duas modalidades de roça sem queimar (Serra, 2005). A primeira tem por objectivo conter o crescimento da vegetação secundária, minimizando a competição desta com as culturas agrícolas, mas sem, para isso, recorrer a fogo ou herbicidas. A contenção é biológica, feita com a introdução de plantas leguminosas de rápido crescimento, como a mucuna preta e o feijão de porco, ou perenes como a banana (Serra, 2005). Em 2011, a terceira fase do projecto “roça sem queimar” foi iniciada com apoio do Ministério do Meio Ambiente (Silva *et al.*, 2013). A segunda modalidade consiste na trituração manual da capoeira, um tipo de vegetação secundária composta por gramíneas.

Outras alternativas oferecidas pela Embrapa são o “sistema bragantino” e o “trio da produtividade”. Em ambos os casos são utilizadas, para substituir a queimada, técnicas agronómicas como o consórcio de culturas, o plantio de leguminosas, bem como a maximização da produtividade com base na selecção das melhores mudas, na definição do espaçamento de plantio e da sequência de capinas (Cravo, 2005 e Alves, 2007).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são outra iniciativa bastante difundida entre órgãos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, como a EMBRAPA, órgãos de assistência técnica, como a EMATER-PA e ONGs que realizam projectos de desenvolvimento rural e conservação com comunidades locais, como o IPAM e o Pesacre no Acre, além do Centro Internacional de Pesquisa em Agrosilvicultura (ICRAF, na sigla em inglês; ver Tomich, 2009). SAFs consistem no cultivo de “espécies lenhosas e não-lenhosas” (Pollini, 2009) de maneira integrada em uma mesma parcela de terra. Na prática, podem compreender culturas anuais, perenes, espécies arbóreas e criação de animais (Varela, 2009). Os SAFs prescindem das queimadas pois são instalados dentro das florestas sem intenção de suprimi-las e tanto a fertilização como a eliminação de plantas competidoras são feitas a partir do manejo da vegetação, com o aproveitamento de material orgânico. Acções também têm sido promovidas no sentido de garantir a continuidade desses projectos e programas. No Pará, em Santarém e em municípios contíguos, a ONG “Projeto Saúde e Alegria” pôde aprovar, junto ao IBAMA, a remuneração de residentes de Reserva Extrativas (RESEX) pelo plantio de árvores, na forma de venda de créditos de reposição florestal. Esta iniciativa foi concebida como um incentivo económico aos SAFs (PAS, 2015), que também têm sido promovidos com outras formas de estímulo pela ONG, como, por exemplo, a assistência técnica.

Dentre as diversas iniciativas realizadas, uma das alternativas livres de fogo para manejo de pastagens que recebeu mais apoio do governo brasileiro e de ONGs é o sistema de pastoreio *Voisin*. Trata-se de criar o gado em ambientes que combinam espécies forrageiras e arbóreas, combinando pasto e floresta. O método originalmente desenvolvido por André Voisin na década de 1970 (Melado, 2002) tem sido adaptado para os biomas brasileiros, como o Cerrado (savana), Pantanal e Amazônia (Melado, 2002). Assim como no caso dos SAFs, a queimada se torna desnecessária dado que o aproveitamento do adubo orgânico e as ervas daninhas são impedidas de crescer pelas espécies arbóreas. Esse sistema foi financiado pelos governos da Itália e do Brasil por meio do programa “Amazônia sem fogo”, que instalou em 1999-2008 múltiplas unidades demonstrativas (UDs) desse sistema em estabelecimentos localizados nos estados do Pará, Acre e Mato Grosso (Melado, 2015).

Uma amostra de outros programas com participação de ONGs e institutos de pesquisa é encontrada no QUADRO I. Existem acções de sensibilização em que se procura convencer os pequenos produtores quanto aos danos ambientais e sociais causados por queimadas e incêndios. É importante destacar que todos esses exemplos de acções realizadas por diferentes níveis de governo (federal, estadual e municipal), ONGs, órgãos de pesquisa, dentre outros parceiros, referem-se a actividades do quarto e quinto eixos do sistema de alerta, quais sejam, a capacidade de prevenção e de reacção ou resposta para gerir o risco, não somente a fim de reduzi-lo mas também evitar a sua amplificação.

Limites das acções atuais e desafios à gestão integrada de riscos

As acções governamentais e não-governamentais podem ser classificadas em função da influência exercida sobre componentes do risco e dos eixos de um sistema de monitoramento e alerta (QUADRO II). O levantamento e análise da pesquisa documental permitiu identificar que a maior parte das iniciativas se concentra na componente de ameaça. Além disso, a maior parte dessas acções se referem à capacidade de prevenção, e não somente à *capacidade de resposta*, razão pela qual o modelo conceitual proposto considera o elemento *capacidade de prevenção* como um dos eixos do alerta (fig. 1). As limitações são diversas e contemplam desde aspectos de falta de capacidade institucional para concessão de autorizações de queima controlada, falta de clareza quanto à instituição responsável pela gestão das brigadas de combate a incêndios, dificuldades para definição de critérios de selecção e priorização das populações a serem contempladas pelos programas de governo, além, é claro, da insuficiência de dados.

No tocante à insuficiência de dados, a complexidade do desafio varia conforme o tipo de actividade à qual se refere. O monitoramento de eventos de fogo, por exemplo, baseia-se em dados de baixa resolução espacial, posto que são oriundos de sensores a bordo de satélites. Este dado é utilizado pelo governo para monitoramento remoto, o que dificulta a identificação de potenciais responsáveis. Apesar da resolução espacial e geo-localização dos produtos satelitais estarem melhorando (Schroeder *et al.*, 2014), a resolução temporal, ou seja, a periodicidade de coleta de dados sobre o mesmo local ainda é insuficiente devido à constante presença de nuvens na região tropical (Arai *et al.*, 2015). Actualmente, o monitoramento do fogo é pouco utilizado para fiscalização. Sua principal aplicação é o planeamento do posicionamento das brigadas. No que tange à fiscalização *in situ*, trata-se de um expediente raramente adoptado para queimadas. Uma das razões para isso é a alta probabilidade de que tal fiscalização não dê resultados. O fogo é um fenómeno cuja relação entre causa e consequência não é directamente observada e, portanto, requer investigação. Esta particularidade fica bastante clara quando se considera o caso de uma perturbação ambiental alternativa, o desmatamento. A observação do desmatamento no interior de uma propriedade fundiária é evidência suficiente para identificar o proprietário como culpado. Porém, o mesmo não se aplica ao fogo, dada a possibilidade de deslocamento do fenómeno por força de factores não controláveis como direcção e velocidade do vento, temperatura e umidade do ar. Deste modo, a detecção de área queimada não se traduziria em autuação do proprietário, mesmo no caso em que este não possuísse a autorização cabível. Neste caso, o custo de deslocamento da equipe de fiscalização seria perdido. Deve também ser destacada a ausência de sistemas de monitoramento adequados em quase metade dos estados da Amazônia Legal, o que denota mais um aspecto de vulnerabilidade institucional (Wilches-Chaux, 1993). O comité estadual, um fórum permanente de discussão sobre prevenção e controle de incêndios do qual participam instituições estaduais governamentais e não-governamentais, está presente em cinco das nove Unidades da Federação da Amazônia Legal. Apenas quatro delas possuem uma sala de situação para o monitoramento em tempo real da dinâmica do fogo. Estas salas funcionam prioritariamente na estação seca do ano, orientando a acção dos brigadistas no campo. Isto demonstra a vulnerabilidade presente no segundo eixo do sistema de alerta de risco, qual seja, o monitoramento.

Outra limitação se refere à solicitação de concessão de autorizações de queima controlada (Carmenta *et al.*, 2013), sendo raras as acções de fiscalização do Ibama voltadas especificamente a queimadas (Ibama-PA, 2015), ao que se acrescenta o fato de que boa parte dos

QUADRO I - Programas voltados à redução de queimadas e controle de incêndios, com participação de organizações não-governamentais e institutos de pesquisa.

TABLE I - National programmes on reducing burning and on controlling wildfires with participation of non-government organizations and research institutes.

Programa	Instituições	Ações desenvolvidas	Cobertura	Principais limitações
Bom manejo do fogo Duração: 1994-2000	Implementação: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) Financiamento: USAID, governo federal	Documentar a sabedoria dos agricultores procurando identificar boas práticas Ações de sensibilização (riscos e danos de incêndios, legislação ambiental (autorizações de queima controlada)) Oficinas de controle e combate a incêndios	Foco social: pequenos agricultores Cobertura: municípios de Paragominas, Belterra e Marabá (Estado do Pará)	Falta de apoio técnico e financeiro perene às comunidades (Costa, 2006) Pedido de apoio das comunidades para mecanizar o preparo da terra não foi atendido (Costa, 2006)
PROTEGER (Projeto de mobilização e capacitação de agricultores familiares, extrativistas e indígenas para a prevenção de incêndios florestais na Amazônia) Duração: Jul 1998 a Jul 1999	Implementação: sindicatos estaduais de trabalhadores da agricultura e sindicatos municipais de trabalhadores rurais; Financiamento: USAID	Ações de sensibilização (riscos e danos de incêndios, legislação ambiental (autorizações de queima controlada)) Disseminação de informação sobre controle de fogo e técnicas de combate Oficinas de combate a incêndios	Foco social: pequenos agricultores Cobertura: 322 municípios da Amazônia, 400 cursos, 21 experiências de manejo da terra sem fogo, 225 monitores qualificados e 12 mil líderes comunitários treinados, 225 brigadas de incêndio comunitárias criadas	Curta duração (Sauer, 2002) Caráter emergencial (Sauer, 2002) Ausência de orçamento próprio (Sauer, 2002) Equipamentos de combate a incêndios foram entregues parcialmente e tarde demais para as comunidades (Costa, 2006)
Amazônia sem fogo Duração: 1998-2008	Implementação: Ministério do Meio Ambiente, governos estaduais Financiamento: Itália (Ministério das relações exteriores)	Oficinas de controle e combate Oficinas de sistemas agroflorestais e manejo sustentável de pastagens Educação ambiental Treinamento de brigadas voluntárias de combate de incêndios Estabelecimento de protocolos municipais ("compromissos coletivos de responsabilidade quanto ao uso do fogo") (Melado, 2011); Instalação de unidades demonstrativas de alternativas ao uso do fogo.	Foco social: principalmente pequenos agricultores, mas médios e grandes proprietários de terra também foram contemplados. Cobertura: área de 779.084 km ² dos estados do Acre, Mato Grosso e Pará, 146 municípios, 60 protocolos municipais assinados, 16 técnicos trabalharam no programa e 400 multiplicadores foram formados (Melado, 2011).	Não foi possível encontrar uma avaliação do programa.
Fogo, Emergência Crônica Duração: 1999-2002	Implementação: Amigos da Terra (ONG) Financiamento: Itália (Ministério das relações exteriores)	Ações de sensibilização (riscos e danos de incêndios, legislação ambiental (autorizações de queima controlada)) Oficinas de controle e combate Apoio à prestação de serviços de saúde (principalmente relacionadas com doenças pulmonares causadas pelo fogo)	Foco social: agropecuaristas em geral, incluindo grandes pecuaristas. Madeiros também foram contactados. Cobertura: 40 municípios da Amazônia brasileira, 50 mil famílias, 200 oficinas.	Falta de apoio técnico e financeiro perene às comunidades (Costa, 2006)
PROTEGER II Duração: Maio 2001-2004	Implementação: sindicatos estaduais e municipais de trabalhadores rurais e ONGs Financiamento: Europa via Banco Mundial (PPG7), BIRD, Ministério do Meio Ambiente, sindicatos	Disseminação de informação sobre legislação ambiental, práticas agropecuárias livres de fogo e ação coletiva Oficinas de combate a incêndios	Foco social: pequenos agricultores, povos indígenas e tradicionais Cobertura: oito dos nove estados da Amazônia	Oferta insuficiente e inadequada de informações sobre práticas livres de fogo (Costa, 2006) Apenas 4% do orçamento do projeto foi direcionado para práticas livres de fogo (documentação e disseminação) (Costa, 2006) Falta de apoio técnico e financeiro perene às comunidades (Costa, 2006) Pedido de apoio das comunidades para mecanizar o preparo da terra não foi atendido (Costa, 2006)
Promanejo Duração: 2001-2004	Implementação: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) e Ibama Financiamento: Países europeus via Banco Mundial (PPG7)	Ações de sensibilização (riscos e danos de incêndios, legislação ambiental (autorizações de queima controlada)) Oficinas de controle de queimadas e combate de incêndios Documentação de práticas de controle de fogo utilizadas pelos agricultores Estabelecer acordos (arranjos institucionais) em torno de práticas de controle de fogo	Área protegida do Tapajós (FLONA), Santarém, Pará, habitada por pequenos agricultores. 18 comunidades e 450 famílias foram contempladas.	Não foram estabelecidos sistemas de monitoramento do cumprimento dos acordos, de sancionamento do descumprimento e nem mesmo arenas para a resolução de conflitos (Souza, 2009). Não foi possível obter recursos para manter as ações após o término do projeto (Souza, 2009). As discussões acerca dos acordos e de práticas de uso e controle de fogo ficaram circunscritas às famílias participantes e tornaram-se cada vez menos frequentes (Souza, 2009).

QUADRO II - Exemplos de acções governamentais, sua relação com a componente de risco e eixo do sistema de alerta, e suas limitações.

TABLE II - Examples of government action, its relationship with the risk warning system and its limitations.

Ação	Instituição	Componente do risco	Eixo do sistema de alerta	Limitações
Monitoramento de eventos de fogo (remoto e <i>in situ</i>)	Governo: federal	Ameaça: ignição	Conhecimento do risco, monitoramento e alerta	Remoto: baixa resolução espacial de satélites (1 km ²) ou falta de produtos operacionais de quantificação de área afetada por fogo; baixa qualidade dos dados de delimitação de propriedades rurais (CAR - Cadastro Ambiental Rural): as incertezas de ambos produtos dificultam a identificação dos potenciais responsáveis; <i>In situ</i> : escassez de operações de fiscalização específica para queimadas
Concessão de autorizações de queima controlada	Governo: estadual e municipal	Ameaça: ignição	Capacidade de prevenção	Insuficiência institucional para concessão de autorizações
Abertura e manutenção de aceiros	Governo: federal	Vulnerabilidade	Capacidade de prevenção	A oferta de aceiros está aquém da demanda. Há carência de suporte em abertura e manutenção de aceiros às comunidades de pequenos produtores e povos tradicionais
Difusão de práticas agro-pecuárias livres de fogo: roça sem queima, adubação verde, sistemas agro-florestais, preparo mecanizado da terra.	Governo: todos os níveis; terceiro sector; instituições de pesquisa	Ameaça: ignição	Capacidade de prevenção	Crterios de priorização e selecção de contemplados não são de conhecimento geral, o mesmo sendo verdadeiro para indicadores de desempenho dos programas
Difusão de actividades económicas livres de fogo: pesca, silvicultura, extracção de produtos florestais não-madeireiros	Governo: todos os níveis; terceiro sector	Ameaça: ignição	Capacidade de prevenção	Crterios de priorização e selecção de contemplados não são de conhecimento geral, o mesmo sendo verdadeiro para indicadores de desempenho dos programas
Ações educativas	Governo: todos os níveis	Capacidade	Capacidade de prevenção	Recomendações contrastam com problemas práticos enfrentados pelos usuários de fogo
Brigadas de combate a incêndios	Governo: federal e estadual	Capacidade	Capacidade de reacção e resposta	Escassez de brigadas especialmente treinadas para combater incêndios florestais em muitos estados. Falta de clareza quanto à instituição responsável (devido à heterogeneidade estadual quanto à categoria de instituição responsável e à rotatividade)

governos estaduais e municipais não realizam nenhuma das duas funções, nem concessão, nem fiscalização. O resultado disso é um número considerável de queimadas realizadas sem a devida autorização, aumentando o risco de desastres. Baseado nas observações dos autores deste artigo, nota-se que no estado do Acre o comprometimento do governo com a redução das queimadas e incêndios é bastante superior à média para a Amazônia e mesmo Brasil. Mesmo assim, em 2015, as queimadas detectadas em um raio de 100 km do centro de Rio Branco - capital do Estado - corresponderam à 14 % do território estadual,

e somaram uma área 168 vezes superior à área total de queimadas autorizadas em todo o estado (Morello *et al.*, *em desenvolvimento*). Dentre as múltiplas razões para uma taxa minoritária de queimadas legais está a falta de estrutura institucional de governos estaduais e municipais para prover autorizações e altos custos de transacção para os solicitantes, com destaque para a necessidade de apresentar documentos que comprovem posse da terra e deslocar-se até às áreas urbanas em que se encontram os órgãos ou secretarias de meio ambiente. A escassez de fiscalização é também uma das explicações para a baixa

taxa de queimadas legais. Pelo menos quatro das nove unidades da federação (UFs) da Amazônia Legal parecem ter capacidade de actuação limitada.

Outra limitação se refere às condições para cumprimento da lei. Segundo a legislação brasileira (Steil, 2009, p. 8), é necessário estabelecer um aceiro de 3 metros isolando a área queimada, limite que passa a 6 metros no caso em que estão em risco áreas de conservação compulsória (reserva legal e áreas de proteção permanente). Dado o grau extenuante do trabalho de remoção de material combustível, a construção do aceiro é geralmente feita com tratores. Tais máquinas não são acessíveis para pequenos produtores, povos indígenas e tradicionais, e com isso acaba-se tendo uma baixa taxa de aceiros dentro das especificações legais (Carvalho, 2004, p. 157). O apoio do governo se mostra necessário e de fato trata-se de uma das frentes de ação do Prevfogo (Prevfogo, 2017). Porém, o próprio Prevfogo reconhece que, na prática, este apoio é limitado (Prevfogo, 2014).

Um exemplo da difusão de práticas agropecuárias e atividades econômicas livres de fogo refere-se ao programa de piscicultura adotado pelo Estado do Acre, que visa além da diminuição do uso e dependência do fogo garantir a segurança alimentar. Foi feito um grande investimento na aquicultura, com construção de tanques para criação de peixes em propriedades de pequeno porte, bem como qualificação dos proprietários e doação de insumos. Além disso houve todo um esforço na criação de um mercado consumidor para a produção pesqueira, em que hoje parte é exportada para mercados internacionais e parte atende o consumo interno do país. Outras atividades, como a extração de produtos florestais não-madeireiros, como castanha e borracha, também foram apoiadas, bem como sistemas agroflorestais e adubação verde com leguminosas. Contudo, algumas comunidades dependentes de fogo não foram contempladas, conforme revela trabalho de campo realizado pelos autores em 2016 e 2017, o mesmo sendo observado em outros estados da Amazônia, como o Pará (Morello *et al.*, 2018b). Porém, é claro que um orçamento estadual seria insuficiente para contemplar todos os usuários de fogo, sendo, pois, esperada a preterição de alguns em função da necessidade de priorização. O que cabe destacar é que os critérios de priorização e seleção de contemplados muitas vezes não chegam a conhecimento de todos, criando a percepção de ausência de apoio governamental. Esta falha de comunicação revela a fragilidade de dois dos componentes de um sistema de alerta, o da capacidade de prevenção e de comunicação. Em complemento, também há escassez de informações quanto à taxa de contemplação e os resultados obtidos pelos programas de difusão. De fato, o monitoramento de tais programas, especialmente no que tange à geração de indicadores quantitativos, pode ser consideravelmente aprimorado. Isso é crucial para se ter uma apreciação precisa da

capacidade de prevenção e de resposta. Uma proxy para a difusão das alternativas ao fogo é a difusão da assistência técnica e extensão rural, serviço imprescindível para uma adoção bem-sucedida e duradoura das alternativas. A oferta de assistência técnica é inferior à demanda nos estados do Pará (PA) e Acre (AC), e provavelmente em outras localidades do país. Atualmente, a Emater-PA dispõe de um contingente de técnicos de campo suficiente para atender apenas 1/8 das unidades (famílias) de agricultura familiar do estado (Emater, 2015a). O déficit de técnicos também ocorre na escala microrregional (Emater, 2015b). Adicionalmente, os técnicos disponíveis têm sua área de atendimento limitada pela baixa disponibilidade de estradas de qualidade mínima (Emater, 2015b). No Acre, o coeficiente de técnicos extensionistas por famílias de pequenos agricultores é de 1/350, consideravelmente inferior ao número visto como ideal, de 1 técnico / 80 famílias (Seaprof, 2017).

Segundo Costa (2004), uma das principais limitações das ações educativas está no caráter “professoral”, em que se procura convencer os usuários do fogo de que eles ou adotam práticas incorretas ou deixam de adotar práticas corretas. Contudo, a escolha das práticas é feita em função de condições específicas, locais, ambientais e socioeconômicas, e, portanto, decorrem de uma racionalidade pragmática em que os meios disponíveis são adaptados a fins imediatos (muitas vezes para a subsistência). Esta discordância entre as recomendações “prontas” que constam nas cartilhas ou palestras, e os problemas práticos dos usuários de fogo, limita consideravelmente a eficiência das ações educativas, previstas no terceiro eixo do sistema de alerta e de gestão dos riscos e de desastres - comunicação e educação. Outro ponto pertinente refere-se a uma deficiência no ensino das escolas rurais sobre as ameaças e vulnerabilidades do uso do fogo. Essa deficiência ocorre também nas escolas urbanas que são localizadas em áreas de risco. Atualmente no Brasil existe um projecto educativo voltado para escolas de ensino fundamental e médio localizados nas áreas de risco (projeto Cemaden-Educação), mas a falta de apoio e uma estrutura do próprio Ministério da Educação faz com que este tipo de iniciativa não ganhe escala (Cemaden, 2017). Actualmente existem seis escolas do Estado do Acre registradas no projecto, e as atividades propostas já estão sendo executadas em mais uma escola, e também em escolas da região do Pando (Bolívia) e Madre de Deus (Perú), dada a relação criada entre instituições desta região tri-fonteiriça visando diminuir os riscos e impactos de desastres (MAPIENSE, 2008).

Outra limitação, concernente ao eixo de capacidade de resposta, refere-se à baixa cobertura territorial das brigadas de incêndios florestais. Havia, em 2015, 29 brigadas do Prevfogo na Amazônia Legal, posicionadas em 44 áreas federais, compreendendo assentamentos rurais do Incra e terras indígenas da Funai. A extensão

completa atendida correspondeu a 159.872 km² ou 3,19 % da Amazônia Legal (Prevfogo, 2015a). As unidades de conservação, de responsabilidade do ICMBio, e que também possuem brigadas, correspondem a 71.299 km² ou 1,42 % da Amazônia Legal (Prevfogo, 2015). Durante a crise dos incêndios florestais no Estado do Acre em 2005 (Brown *et al.*, 2006), estimou-se que um total de 400 brigadistas foram ativados, juntando-se as forças municipais, estaduais e federais. No entanto, estimou-se uma área afetada por incêndios na ordem de 500,000 hectares, o que sugere que cada brigadista seria responsável por cerca de 1,000 hectares durante a crise (Brown *et al.*, 2011). No restante da Amazônia Legal, aproximadamente 4,75 milhões de km², a prevenção e o combate a incêndios são de responsabilidade dos governos estaduais e municipais. No entanto, as experiências em pesquisas de campo realizadas pelos autores deste artigo têm revelado que, na prática, poucos lugares possuem brigadas especialmente treinadas para enfrentar incêndios florestais, sendo que essas brigadas são insuficientes em termos de contingente, e isso é ainda mais dramático no nível municipal.

Outro ponto importante a ser discutido refere-se à atribuição de responsabilidades de órgãos estaduais e municipais quanto à prevenção e o combate a incêndios florestais. Uma das vulnerabilidades do sistema brasileiro refere-se à rotatividade da responsabilidade sobre estas ações no nível estadual. Por exemplo, no Estado do Mato Grosso houve mudanças entre a responsabilidade da Defesa Civil ou do Corpo de Bombeiros Militar em atuar na área de combate a incêndios. No Estado do Acre, esta responsabilidade é do Batalhão de Policiamento Ambiental. No Estado de Minas Gerais, esta responsabilidade é do Instituto Estadual de Florestas em parceria com o Corpo de Bombeiros Militar. Esta heterogeneidade estadual quanto à categoria de instituição responsável dificulta a criação de um sistema nacional integrado.

Conclusões e recomendações

A gestão integrada de risco precisa contemplar as limitações e desafios nas diversas políticas públicas e de comunicação entre órgãos federais, estaduais e municipais que têm vínculos com este tema, tornando-o intersetorial. Há muitas oportunidades para aprimorar as ações de prevenção e combate a incêndios florestais, bem como as ações de gestão de risco de desastres associados a eles. Este aprimoramento é cada vez mais necessário dado o aumento, nos últimos 14 anos, da frequência e de intensidade de secas extremas (Li *et al.*, 2006; Cox *et al.*, 2008). Para além dessa ameaça, as dimensões de vulnerabilidade que compõem o risco de desastres associados a incêndios florestais são complexas e diversas, apresentando feições que envolvem fatores econômicos, políticos, institucionais.

O principal ponto abordado neste artigo refere-se à subestimativa do risco de incêndios florestais no Brasil, que se revela, em parte, nas fragilidades identificadas em cada um dos eixos do sistema de alerta e de gestão dos riscos e de desastres aqui proposto. A própria mensuração do impacto é subestimada devido à falta de um sistema integrado que vise catalogar os impactos diretos e perdas econômicas associadas a incêndios florestais. Mesmo que tais incêndios não ganhem proporções catastróficas, como ocorreu em 1998, 2005, 2010 e 2015/16, eles impõem danos relevantes na escala individual, a pequenos e grandes produtores, a povos tradicionais e ecossistemas e seus serviços ambientais.

A lição a ser retirada desses desastres é que é necessário, em primeiro lugar, desmistificar a queimada, de modo a evitar que a mesma se transforme em um tabu por conta da criminalização indevida. Em segundo lugar, envolver comunidades e governos em estratégias conjuntas de gestão de risco, expor as causas e consequências das queimadas, dialogar sobre os cenários de mudanças climáticas e ambientais para compreender e planejar sobre formas de lidar com o risco de incêndios florestais. Estas recomendações precisam ser acompanhadas de medidas que permitam melhorar a capacidade de prever secas extremas e suas consequências, bem como melhorar a capacidade de ação de governos e comunidades. Para que todos estes fatores ocorram, propusemos aqui uma estrutura de um modelo conceitual de um sistema de gestão de risco e de alertas de incêndios florestais, a fim de integrar ações de órgãos públicos federais e estaduais de pesquisa e monitoramento, com órgãos estaduais e municipais de educação, comunicação e capacidades de prevenção e resposta.

Referências bibliográficas

- Alves, R. N. B., Júnior, M., & Andrade, A. D. S. (2007). *O Trio da Produtividade na Cultura da Mandioca - Estudo de caso de adoção de tecnologias na região no Baixo Tocantins*. Disponível em: http://www.cnpma.embrapa.br/boaspraticas/download/Trio_Produtividade_Cultura_Mandioca.pdf
- Amazon fire synthesis workshop. April 18-21st (2017). Co-organizers: Workshop co-organizers: Jim Randerson, Paulo Brando, Douglas Morton. Local: Brasília Palace Hotel, Brasília. Link para documentos: <https://drive.google.com/drive/folders/0BwwG0riXwuQvcV9fYW95VU5Qa1E>
- Amiro, B. D., Logan, K. A., Wotton, B. M., Flannigan, M. D., Todd, J. B., Stocks, B. J., & Martell, D. L. (2004). Fire weather index system components for large fires in the Canadian boreal forest. *International Journal of Wildland Fire* 13(4), 391-400. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF03066>

- Anderson, L. O., Yamamoto, M., Cunningham, C., Fonseca, M. G., Kirsten, L., Pimentel, A., Brown, F., Silva Junior, C. H., Lopes, E., Moreira, D., Salazar, N., Andere, L., Rosan, T. M., Reis, V., Aragão, L. E. O. C. (2017). Utilização de dados orbitais de focos de calor para caracterização de riscos de incêndios florestais e priorização de áreas para a tomada de decisão. *Revista Brasileira de Cartografia*, n.69/1, 163-177.
- Anderson, L. O., Aragão, L. E. O. C., Gloor, M., Arai, E., Adami, M., Saatchi, S., Malhi, Y., Shimabukuro, Y., Barlow, J., Berenguer, E., Duarte, V. (2015) Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emission in Amazonia during the 2010 drought. *Global Biogeochemical Cycles*, 28. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014GB005008>
- Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., Roman-Cuesta, R. M., Saatchi, S., Anderson, L. O., Shimabukuro, Y. E. (2007) Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophysical Research Letters*, v. 34, DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL028946>
- Aragão, L. E. O. C., Anderson, L.O., Fonseca, M. G., Rosan, T. M., Vedovato, L., Wagner, F., Silva, C., Júnior, C., Arai, E., Aguiar, A. P., Narlow, J., Berenguer, E., Deeter, M., Domingues, L., Gatti, L., Gloor, M., Malhi, Y., Marengo, J., Miller, J., Phillips, O., Saatchi, S. (2018). 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, 9, 536. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>
- Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., Barbier, N., Lima, A., Shimabukuro, Y., Anderson, L. O., Saatchi, S. (2008) Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philosophical Transactions - Royal Society. Biological Sciences*, v. 363, 1779-1785. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0026>
- Arai, E., Anderson, L.O., Shimabukuro, Y.E., Adami, M., Duarte, V., Aragão, L.E.O.C. (2015). Avaliação da cobertura de nuvens e cobertura de dados MODIS sobre a Amazônia nos anos de extremos climáticos de 2009 e 2010. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.15.31.13/doc/p0733.pdf>
- Atwood, Elizabeth C., Englhart, Sandra, Lorenz, Eckehard, Halle, Winfried, Wiedemann, Werner, Siegert, Florian (2016). Detection and Characterization of Low Temperature Peat Fires during the 2015 Fire Catastrophe in Indonesia Using a New High-Sensitivity Fire Monitoring Satellite Sensor (FireBird). PLOS ONE. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159410>
- Basher, Reid (2006). Global early warning systems for natural hazards: Systematic and people-centred. *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences* 364, 1845, 2167-2182.
- Braman, L. M., vanAalst, M. K., Mason, S. J., Suarez, P., Ait-Chellouche, Y. and Tall, A. (2013). Climate forecasts in disaster management: Red Cross flood operations in West Africa, 2008. *Disasters*, 37, 144-164. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2012.01297.x>
- Brown, F. (2006). Monitoring fires in southwestern Amazonia rain forest. *EOS Transactions of the American Geophysical Union*. 2006, v.87, n.26, 253-264.
- Brown, F., Santos, G., Pires, F., da Costa, C. (2011). "World Resources Report Case Study. Brazil: Drought and Fire Response in the Amazon". World Resources Report, Washington DC. Available online at <http://www.worldresourcesreport.org>
- Camia, A., Durrant, T., San-Miguel-Ayanz, Jesús (2014). The European Fire Database Technical specifications and data. *Executive report*. ISBN 978-92-79-35929-3, ISSN 1831-9424. DOI: <https://doi.org/10.2788/2175>
- Carmenta, R., Vermeulen, S., Parry, L., & Barlow, J. (2013). Shifting cultivation and fire policy: insights from the Brazilian Amazon. *Human ecology*, 41(4), 603-614.
- Carvalho, A., Flannigan, M. D., Logan, K., Miranda, A. I., Borrego, C. (2008). Fire activity in Portugal and its relationship to weather and the Canadian Fire Weather Index System. *International Journal of Wildland Fire* 17(3), 328-338. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF07014>
- Carvalho, A. S., Rosário, F. (2018) Gone with the Fire: How Family Physicians in Central Portugal Experienced the Aftermath of the Great Fire of October 15, 2017. *Acta Med Port* 2018 Jan,31(1), 7-8. DOI: <https://doi.org/10.20344/amp.10178>
- Carvalho, K. (2004). *Community fire management in the Maraba region, Brazilian Amazonia* (Doctoral dissertation, University of Florida).
- Ceccato, P., Cressman, K., Giannini, A., Trzaska, S. (2007). The desert locust upsurge in West Africa (2003 - 2005): information on the desert locust early warning system, and the prospects for seasonal climate forecasting. *Int J Pest Manag* 53, 7-13.
- Cemaden (2017). Cemaden Educação. <http://educacao.cemaden.gov.br/>
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, M. P., Vilar, L., Martínez, J., Martín, S., Ibarra, P., de la Riva, J., Baeza, J., Rodríguez, F., Molina, J. R., Herrera, M. A., Zamora, R. (2010). Development

- of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling* 221, 46e58.
- Costa, L. M. (2006). *Comunicação & Meio ambiente: A análise das campanhas de prevenção a incêndios florestais na Amazônia*. Belém-NAEA.
- Costa, M. S. S., Melo, L. O. (2018). Dinâmica da regeneração natural após manejo e incêndio em área da floresta nacional do Tapajós. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 9 (6).
- Cox, P. M., Harris, P. P., Huntingford, C., Betts, R. A., Collins, M., Jones, C. D., Jupp, T. E., Marengo, J. A., Nobre, C. A. (2008). Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature* 453, 212-216.
- Cunningham, C., Anderson, L. O., Brown, F., Reis, V. (2017). Sub-Seasonal to Seasonal Climate Characteristics Associated to the 2005 Fires in the Acre State. *Revista Brasileira de Cartografia*, n.69/4, 791-805, 2017.
- Cravo (2005). *Sistema Bragantino: agricultura sustentável para a Amazônia*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental.
- Denich, M., Vlek, P. L., de Abreu Sá, T. D., Vielhauer, K., & Lücke, W. (2005). A concept for the development of fire-free fallow management in the Eastern Amazon, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 110(1), 43-58.
- Davies, D.K., Vosloo, H.F., Vannan, S.S., Frost, P. E. (2008). Near real-time fire alert system in South Africa: from desktop to mobile service. Proceedings of the 7th ACM conference on Designing interactive systems, 315-322.
- Davies, D.K., Ilavajhala, S., Wong, M.M, Justice, C.O. (2009). Fire Information for Resource Management System: Archiving and Distributing MODIS Active Fire Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2002076>
- Edgeley, C. M., & Paveglio, T. B. (2016). Influences on stakeholder support for a wildfire early warning system in a UK protected area. *Environmental Hazards*, 15(4), 327-342. DOI: <http://doi.org/10.1080/17477891.2016.1209155>
- Emater (2015a) Entrevista semiestruturada com extensionista senior da unidade de Belém.
- Emater(2015b) Entrevista semiestruturada com supervisores regionais da unidade de Santarém.
- Flynn, L. P., Wright, R., Garbeil, H., Harris, A., & Pilger, E. (2002). A Global Thermal Alert System Using MODIS: Initial Results from 2000-2001. *Advances in Environmental Monitoring and Modelling*, Vol. 1 No. 1 (2002), 37-60.
- Fonseca, M. G., Aragão, L., Lima, A., Shimabukuro, Y., Arai, E., Anderson, L. O. (2016). Modelling fire probability in the Brazilian Amazon using the Maximum Entropy method'. *International Journal of Wildland Fire*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/WF15216>
- Garcia, C., Fearnley, C. (2012). Evaluating critical links in early warning systems for natural hazards. *Environmental Hazards* 11, 2, 123-137.
- Gill, A. M. (2005). Landscape fires as social disasters: An overview of 'the bushfire problem. *Environmental Hazards*, 6(2), 65-80. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.hazards.2005.10.005>
- IBAMA-PA (2015). Comunicação pessoal, com o superintendente substituto do IBAMA no estado do Pará, Março de 2015.
- IPAM (2014) Projeto Assentamentos Sustentáveis na Amazônia promove curso de capacitação em pastagem ecológica. Fonte: www.ipam.org.br
- IPCC (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G. K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 p.
- Júnior, N. N. P., Murrieta, R. S. S., Adams, C. (2008). A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi Cienc. Hum.* v.3 n.2. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81222008000200003
- Kang, B., & Choo, H. (2016). A deep-learning-based emergency alert system. *ICT Express* 2, 67-70.
- Kelman, I., Glantz, M. (2014). Early warning systems defined. In: Z. Zommers, A. Singh (Eds.). *Reducing disaster: Early warning systems for climate change* (p. 89-108). Dordrecht: Springer.
- Landis, M. S., Edgerton, E. S., White, E. M., Wentworth, G. R., Sullivan, A. P., Dillner, Ann M. (2017). The impact of the 2016 Fort McMurray Horse River Wildfire on ambient air pollution levels in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. *Science of The Total Environment*. ISSN 0048-9697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.008>
- LaVell, A. (1993). Ciencias Sociales y Desastres Naturales en America Latina: un encuentro inconcluso. In: Andrew Maskrey (Ed.), *Los desastres no son naturales* (p.111-125). Panamá: *Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina*.

- Lavell, A., Maskrey, A. (2014). The future of disaster risk management. *Environmental Hazards*, 13, 4, 267-280.
- Li W.H, Fu, R., Dickinson, R. E. (2006). Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. *J. Geophys. Res. Atmos.* 111.
- Lourenço, L. (2018). Incêndios florestais em Portugal continental fora do período crítico, estudados numa tese que fornece importantes contributos para o seu conhecimento. *Territorium*, 25 (I), 151-154. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_25-1_13
- Lourenço, L. (2007). Incêndios florestais de 2003 e 2005. Tão perto no tempo e já tão longe na memória. Riscos Ambientais e Formação de Professores (Actas das VI Jornadas Nacionais do Prosepe), *Colectânea Cindinicas VII*, Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, 19-91. Disponível em: <http://www.nicif.pt/estudos%20cindinicos%207.htm>
- Lourenço, L. e Lopes, N. C. (2004). Incêndios Florestais, consequência e razão de ser de novas Mudanças Globais, *GeolNova*, Lisboa, n.º 9, “Ambiente e Mudanças Globais”, 45-64.
- Lowe, R., Bailey, T. C., Stephenson, D. B., Graham, R. J., Coelho, C. A. S., Sá Carvalho, M., & Barcellos, C. (2011). Spatio-temporal modelling of climate-sensitive disease risk: Towards an early warning system for dengue in Brazil. *Computers and Geosciences*, 37(3), 371-381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.01.008>
- MAPIENSE (2008). Programa integrado para o desenvolvimento sustentável da Amazônia ocidental. MAPIENSE, 1(1). Disponível em: http://www.herencia.org.bo/webdocs/publicaciones/mapiense_1.pdf
- Marchezini, V. (2015). Redução de vulnerabilidade a desastres: dimensões políticas, científicas e socioeconômicas. *WATERLAT-GOBACIT Network Working Papers*, 2, 17, 82-102.
- Marchezini, V., Trajber, R.Olivato, D.a, Muñoz, V. A., Pereira, F. de A., Luz, A. E. O. (2017). Participatory Early Warning Systems: Youth, Citizen Science, and Intergenerational Dialogues on Disaster Risk Reduction in Brazil. *International Journal of Disaster Risk Science*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13753-017-0150-9>
- Martins, A. F. (1940). *O esforço do homem na bacia do Mondego. Ensaio geográfico*. Coimbra, 299 p.
- Melado, J. (2002). Pastagens ecológicas: o habitat natural do bovino orgânico. *I Conferência Virtual Global sobre Produção Orgânica de Bovinos de Corte*. Anais. 2002.
- Melado, J. (2015). Engenheiro agrônomo, consultor e desenvolver de projetos de manejo sustentável de pastagens, divulgador do método Voisin. Entrevista realizada por telefone em Março de 2015.
- Morello, T. F., Parry, L., Markusson, N., Barlow, J. (2017a). Policy instruments to control Amazon fires: A simulation approach. *Ecological Economics*, 138, 199-222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.043>
- Morello, T. F., Ramos, R., Steil, L., Parry, L., Barlow, J., Markusson, N., Ferreira, A. (2017b). Fires in Brazilian Amazon: why does policy have a limited impact? *Ambiente & Sociedade*, 20 (4). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0232r1v2042017>
- Morello, T. F., Ramos, R. M., Anderson, L. O., Rosan, T. M., Steil, L. (2018a). Predicting Amazon Fires For Policy Making, Anais do XLIV Encontro Nacional de Economia [Proceedings of the 44th Brazilian Economics Meeting] 184, ANPEC - Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia [Brazilian Association of Graduate Programs in Economics]. Disponível em: https://www.anpec.org.br/encontro/2016/submissao/files_1/i11-3b68242e7c3a5a3a7f24ce256c5d517c.pdf
- Morello, T. F., Piketty, A. G., Gardner, T., Parry, L., Barlow, J., Ferreira, J., Tancredif, N. S. (2018b). Fertilizer Adoption by Smallholders in the Brazilian Amazon: Farm-level Evidence. *Ecological Economics*, 144, 278 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.010>
- Moritz, M. A., Hessburg, P. F., Povak, N. A., (2011). Native fire regimes and landscape resilience. In: McKenzie, D., Miller, C., Falk, D.A. (Eds.), *The Landscape Ecology of Fire*. Springer, 51-88.
- Noonan-Wright, E. K., Opperman, T. S., Finney, M. A., Zimmerman, G. T., Seli, R. C., Elenz, L. M., ... & Fiedler, J. R. (2011). Developing the US wildland fire decision support system. *Journal of Combustion*, 2011.
- Pavglio, T. B., Carroll, M. S., & Jakes, P. J. (2010). Alternatives to evacuation during wildland fire: Exploring adaptive capacity in one idaho community. *Environmental Hazards*, 9(4), 379-394. DOI: <http://doi.org/10.3763/ehaz.2010.0060>
- Prevfogo (2013). Programa brigadas federais. IBAMA.
- Prevfogo (2015). Comunicação pessoal com servidores da Coordenação Nacional do Prevfogo, Março a Setembro de 2015.
- Prevfogo (2017). Relatórios de combate a incêndios. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/incendios-florestais/relatorios/relatorios-de-combate-a-incendios>
- Prevfogo-OPA (2015). Comunicação pessoal com servidores da Coordenação do Prevfogo no Oeste do Pará. Abril.

- Pollini, J. (2009). Agroforestry and the search for alternatives to slash-and-burn cultivation: From technological optimism to a political economy of deforestation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(1), 48-60.
- Rebello, F. (2003). *Riscos Naturais e Acção Antrópica. Estudos e Reflexões*. Coimbra, Imprensa da Universidade, 286 p. (2ª edição, revista e aumentada).
- Romero, G., Maskrey, A. (1993). Como entender los desastres naturales. In: Andrew Maskrey (Eds.), *Los desastres no son naturales. Panamá: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina*, 6-10.
- Rosan, T. M., Anderson, L. O., Vedovato, L. (2017). Assessing the Origin of Hot Pixels in Extreme Climate Years in the Brazilian Amazon. *Revista Brasileira de Cartografia*, n.69/4, 731-741.
- Safra (2015). Relatório anual de áreas mecanizadas. Programa de mecanização agrícola 2015.
- Safra (2016). Relatório anual de áreas mecanizadas. Programa de mecanização agrícola 2016.
- San-Miguel-Ayanz, J., & Ravail, N. (2005). Active Fire Detection for Fire Emergency Management: Potential and Limitations for the Operational Use of Remote Sensing. *Natural Hazards*, 35, 361-376.
- Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L., Csiszar, I.A. (2014). The New VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85-96.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.12.008>
- SEMAGRI (2017). Sítio online da Secretaria Municipal de Agricultura, Comércio e Indústria do município de Paragominas. Disponível em: <http://www.paragominas.pa.gov.br/secretarias/SEMAGRI/>
- SEAPROF (2017). Comunicação pessoal com coordenador do departamento de produção familiar. Secretaria de Estado de Extensão Agroflorestal e Produção Familiar.
- SEAPROF (2017). Comunicação pessoal com servidores responsáveis pela participação da instituição nos programas de certificação e desenvolvimento sustentável. Janeiro de 2017.
- SEMAGRI (2017). Disponível em: <http://www.paragominas.pa.gov.br/secretarias/SEMAGRI/>
- Silva, F. A. M., Calvi, M. F., Britto, G. C., & Monteiro, T. L. T. (2013). Sistema roça sem queimar como modelo alternativo de manejo agroflorestal. In Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: *Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*, 9., Ilhéus. Políticas públicas, educação e formação em sistemas agroflorestais na construção de paisagens sustentáveis: anais. Ilhéus: SBSAF, 2013. 1 CD-ROM.
- Silva Júnior, C. H. L., Aragão, L. E. O. C., Fonseca, M. G., Almeida, C. T., Vedovato, L. B., Anderson, L.O. (2018). Deforestation-Induced Fragmentation Increases Forest Fire Occurrence in Central Brazilian Amazonia. *Forests* 2018, 9(6), 305 p.
DOI: <https://doi.org/10.3390/f9060305>
- Serra, A. B. (2005). *Indicadores de sustentabilidade do solo em sistemas alternativos ao uso do fogo, baseados nos princípios da agroecologia, desenvolvidos por agricultores familiares na região da rodovia transamazônica-oeste do Pará (Tese de Doutorado)*. Universidade Federal do Pará.
- Setzer, A. W., Sismanoglu, R. A., Martins, G. (2016). *Metodologia do cálculo do risco de fogo do programa Queimadas do INPE - Versão 10. Relatório técnico*, disponível em: https://oldwww-queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/documentos/RiscoFogo_Sucinto.pdf
- Steil, L. (2009) *Legislação ambiental pertinente ao tema fogo. IBAMA-Prevfogo*. Documento não publicado.
- Son, B., Her, Y. S., & Kim, J. G. (2006). A Design and Implementation of Forest-Fires Surveillance System based on Wireless Sensor Networks for South Korea Mountains. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.6 No.9B.
- Stevens-Rumann, C. S., Kemp, K. B., Higuera, P. E., Harvey, B. J., Rother, M. T., Donato, D. C., Morgan, P., Veblen, T. T. (2017). Evidence for declining forest resilience to wildfires under climate change. *Ecology Letters*, 21 (2), 243-254.
- Thomson, M. C., Doblaz-Reyes, F. J., Mason, S. J., Hagedorn, R., Connor, S. J., Phindela, T., Morse, A. P., Palmer, T. N. (2006). Malaria early warnings based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles. *Nature* 439, 576-579
- Tomich, T. P., van Noordwijk, M., Vosti, S. A., & Witcover, J. (1998). Agricultural development with rainforest conservation: methods for seeking best bet alternatives to slash-and-burn, with applications to Brazil and Indonesia. *Agricultural Economics*, 19(1), 159-174.
- Tyler, M., & Fairbrother, P. (2018). Gender, households, and decision-making for wildfire safety. *Disasters*. DOI: <http://doi.org/10.1111/disa.12285>
- Varela, L. B., & Cordeiro de Santana, A. (2009). Aspectos econômicos da produção e do risco nos sistemas agroflorestais e nos sistemas tradicionais de produção agrícola em tomé-açu, Pará-2001 a 2003. *Revista Árvore*, 33(1).

- Villagrán de León, J. C. (2012). Early warning principles and practices. In: Ben Wisner, J.C. Gaillard and Ilan Kelman (Eds.), *Handbook of hazards and disaster risk reduction and management* (481-492). Oxfordshire: Routledge.
- UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION-UNISDR (2004). *Early warning as a matter of policy: The conclusions of the Second International Conference on Early Warning*. UNISDR, the German Disaster Reduction Committee (DKKV).
- UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION-UNISDR (2005). *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters*. United Nations: Geneva.
- UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION-UNISDR (2006a). *Global survey of early warning systems: An assessment of capacities, gaps and opportunities towards building a comprehensive global early warning system for all natural hazards*. Geneva: UNISDR.
- UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION-UNISDR (2006b). *Developing early warning systems: A checklist*. Bonn: UNISDR.
- UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION-UNISDR (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. Geneva, Switzerland. 37p. Disponível em: http://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf. Acesso em: 6 de julho, 2017.
- Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. In: Andrew Maskrey (Ed.), *Los desastres no son naturales* (p.11-41). Panamá: *Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina*.
- Wisner, B. (2016). Vulnerability as Concept, Model, Metric, and Tool. *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*.
- WMO (2014a). *Global Framework for Climate Services Implementation Plan*. Geneva: World Meteorological Organization.
- WMO. (2014b) *Disaster Risk Reduction. Exemplar to the User Interface Platform of the Global Framework for Climate Services*. Geneva: World Meteorological Organization, 2014.
- WFDSS (2017). Wildland Fire Decision Support System. Disponível em: https://wfdss.usgs.gov/wfdss/WFDSS_About.shtml

(Página deixada propositadamente em branco)



RISCOS



PAISAGENS PROTEGIDAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS EM BRASÍLIA:
PRODUÇÃO VOLUNTÁRIA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E SISTEMA DE ALERTA*

PROTECTED LANDSCAPES AND FOREST FIRES IN BRASÍLIA:
VOLUNTARY PRODUCTION OF GEOGRAPHIC INFORMATION AND WARNING SYSTEM

Maria de Fátima Duarte Tavares

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Brasil)
ORCID 0000-0002-6764-8464 fatimatavares@ibict.br

Bruno Nakagomi

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Brasil)
ORCID 0000-0002-7155-0646 brunonakagomi@ibict.br

Vânia Soares

Jardim Botânico de Brasília (Brasil)
ORCID 0000-0002-3630-2268 vania-soares.jbb@gmail.com

Leonardo Castro Botega

Faculdade de Filosofia e Ciência, Ciência da Informação
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Brasil)
ORCID 0000-0003-1495-5935 leonardo.botega@unesp.br

Vânia Paula de Almeida Neris

Departamento de Computação
Universidade Federal de São Carlos (Brasil)
ORCID 0000-0002-0858-486X vania@dc.ufscar.br

RESUMO

As áreas protegidas do Cerrado, em Brasília, estão sendo progressivamente afetadas pela urbanização e por um quadro de recorrências de incêndios florestais. O estudo de caso da Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília apresenta essas condições, que traduzem a relevância da participação da sociedade local nas dinâmicas de gestão de situações de risco. Neste âmbito, propõe-se um sistema de alerta para gestão da informação em processos decisórios e para estimular o reconhecimento social do problema por meio da produção voluntária de informações geográficas.

Palavras-chave: Cerrado, riscos, processos decisórios, tecnologias móveis, urbanização.

ABSTRACT

Protected *Cerrado* [savanna] areas in Brasília have been increasingly affected by urbanization and recurrent forest fires. This case study of the Brasília Botanical Garden Ecological Station [EEJBB] describes these factors, which elucidate the importance of local community participation in the dynamics of risk situation management. In this context, we propose a warning system to manage the information generated in decision-making processes and incentivize society to recognize the problem through the voluntary production of geographic information.

Keywords: Cerrado, risk, decision-making processes, mobile technologies, urbanization.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no IV Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 07-08-2017, sujeito a revisão por pares a 22-09-2017 e aceite para publicação em 12-05-2018. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 26 (I), 2019, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

As áreas protegidas do Cerrado no território do Distrito Federal (DF), na região central do Brasil, estão sendo progressivamente afetadas pela urbanização (fig. 1). As mudanças no ordenamento territorial estão, também, associadas à ocorrência de incêndios florestais, que atingem, com frequência, as principais unidades de conservação criadas após a fundação de Brasília (DF, 2016 a; DF, 2011). Com efeito, a análise inicial dessas condições, a extensão das áreas atingidas e o quadro de recorrências justificam a estratégia de ampliar a participação da sociedade local nas dinâmicas de gestão de situações de risco (fig. 2).

De forma complementar aos programas locais de prevenção e de sistemas nacionais de monitoramento de queimadas, este estudo, multidisciplinar e multi-institucional, propõe um sistema de alerta para estruturar a gestão da informação em processos decisórios e estimular o reconhecimento social do problema por meio da produção voluntária de informações geográficas. A aplicação experimental do sistema de alerta vai envolver o território do Jardim Botânico de Brasília (JBB) e sua Estação Ecológica (EEJBB), que integram um mosaico de unidades de conservação, com 10 mil hectares de Cerrado, em que estão representadas praticamente todas as fitofisionomias características do bioma, constituindo a área núcleo de vida silvestre da Reserva da Biosfera do Cerrado, em classificação da UNESCO de 1982 (fig 3).

O Jardim Botânico de Brasília, como instituição gestora da EEJBB, participa do Programa de Combate e Prevenção a Incêndios Florestais do Distrito Federal e desenvolve atividades de prevenção de incêndios florestais buscando medidas para a eliminação de suas causas, bem como, a redução dos riscos de propagação do fogo, em cooperação com demais unidades (DF, 2011; DF, 2016 b). Os incêndios que ocorrem no JBB e sua Estação Ecológica durante a estação seca, na maioria das vezes, são provenientes de ações antrópicas oriundas de quadras residenciais internas do Lago Sul, a noroeste, da área da Base Aérea da Aeronáutica e do Setor de Mansões Parque Way a oeste e da rodovia DF-001 a leste, que fazem limite com a Estação Ecológica, conforme será detalhado em próximos itens. Nos últimos 15 anos a área sofreu, pelo menos, dois grandes incêndios florestais, em 2005 e 2011, que queimaram, respectivamente, cerca de 70 % e 50 % da área protegida (S. Correa, 2007; DF, 2011).

A área de estudo foi pré-determinada por uma poligonal de 3 km projetados a partir dos limites do Jardim Botânico de Brasília e de sua Estação Ecológica, esta última unidade de proteção integral criada em 1992, tendo em vista caracterizar as relações da ocupação territorial e identificar áreas de maior vulnerabilidade à recorrência de incêndios florestais. As duas principais

delimitações ou interfaces da área são, de um lado, a rodovia DF001 e, de outro, o Ribeirão do Gama, que constituem elementos de referência espacial e paisagística (fig. 3).

O Cerrado e Incêndios Florestais

O Cerrado, classificado em geral como bioma semelhante às savanas, abriga composições paisagísticas diversificadas, que Ab'Saber propunha traduzir como um dos domínios espaciais morfoclimáticos e fitogeográficos do Brasil. Os traços paisagísticos e ecológicos integrados desse domínio configuram um complexo que marca uma área *core* de forma extensa e contínua (A. Ab'Saber, 2003, p.11). Segundo Ab'Saber, esse domínio, que prevalece na região do Planalto Central, é um dos mais arcaicos do território brasileiro e é dependente, em sua caracterização, dos solos, do quadro climático e hidrológico próprios (A. Ab'Saber, 2003, p.31). As dificuldades de definição e de classificação das paisagens do Cerrado apontadas por Eiten e Ab'Saber (A. Ab'Saber, 2003; G. Eiten, 1977) foram colocadas como problema nos anos 60 e 70 do século passado, em que a dinâmica de ocupação desse território era distinta da atual, com a expansão da rede urbana após Brasília e a transformação decorrente de práticas intensivas de produção agrícola em larga escala (A. Ab'Saber, 2003, p. 35 e p. 43;). Note-se que os estudos sistemáticos e continuados sobre a estrutura das fitofisionomias do Cerrado, sua fauna e flora, são relativamente recentes e ganham amplitude de forma paralela ao processo acelerado de ocupação do interior do centro-oeste do país, notadamente, após os anos 70 do século XX. Conforme Walter, no debate sobre a equivalência conceitual ou não dos cerrados à savana, pesou na atualidade a aceitação da predominância das semelhanças e não da diversidade, que era enfatizada por Eiten (B. Walter, 2006).

Para efeito deste trabalho, importa considerar os traços dominantes de caracterização do Cerrado: multiplicidade de formações de paisagem, cuja vegetação apresenta uma capacidade adaptativa de longa duração ao fogo; solos muito pobres; e clima tropical (semi-úmido e quente), em que prevalecem prolongados períodos bem definidos de seca no inverno e chuvoso no verão (IBAMA, 2010, p. 23; M. Medeiros, H. Miranda, 2005, p. 493; B. Walter, 2006, p. 29). As fitofisionomias do Cerrado, entendido como bioma, podem ser agrupadas em conjuntos de campos, florestas e savanas, que são afetadas de forma diferenciada pelo regime de fogo, ou seja, pela frequência e quadro climático de ocorrência (B. Walter, 2006). Note-se que as queimadas naturais que ocorrem no Cerrado são relativamente frequentes, principalmente, na transição do período seca-chuva. No geral, as queimadas por causas naturais, decorrentes de raios, não atingem grandes áreas, uma vez que a chuva posterior impede a propagação de incêndios de maior magnitude.

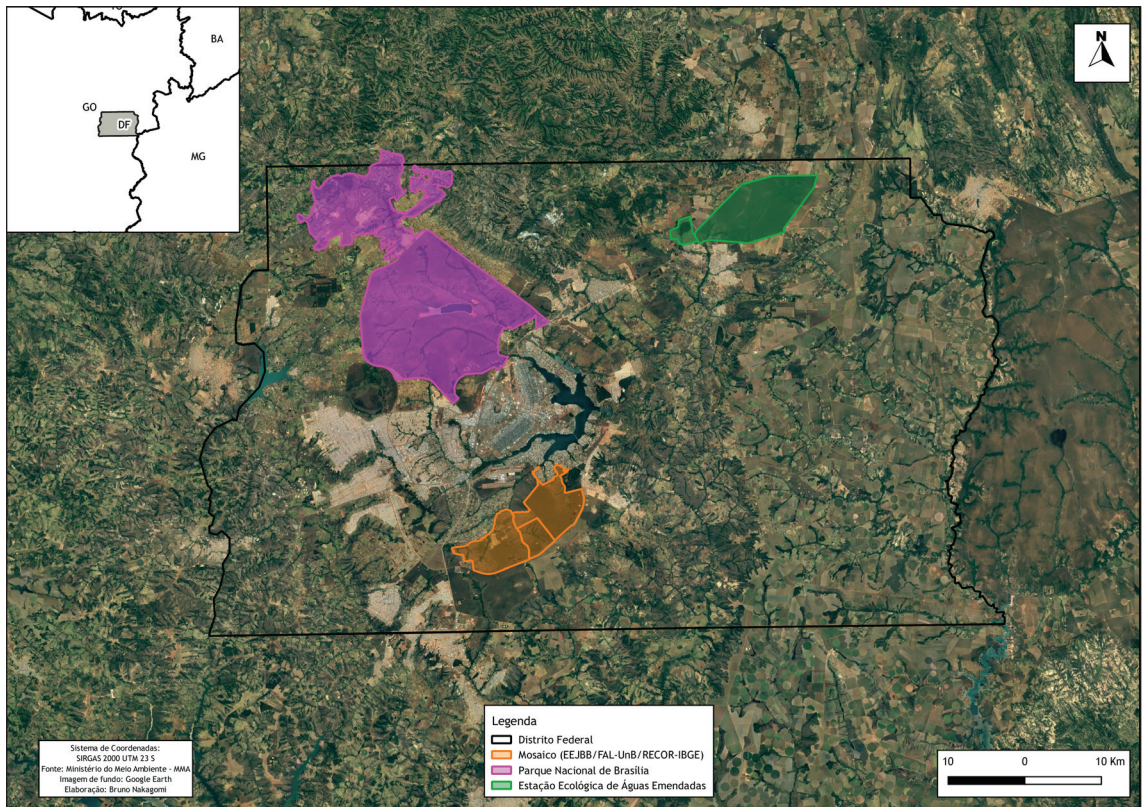


Fig. 1 - Áreas protegidas de conservação integral do DF.

Fig. 1 - Protected areas of integral conservation of the Federal District [DF].

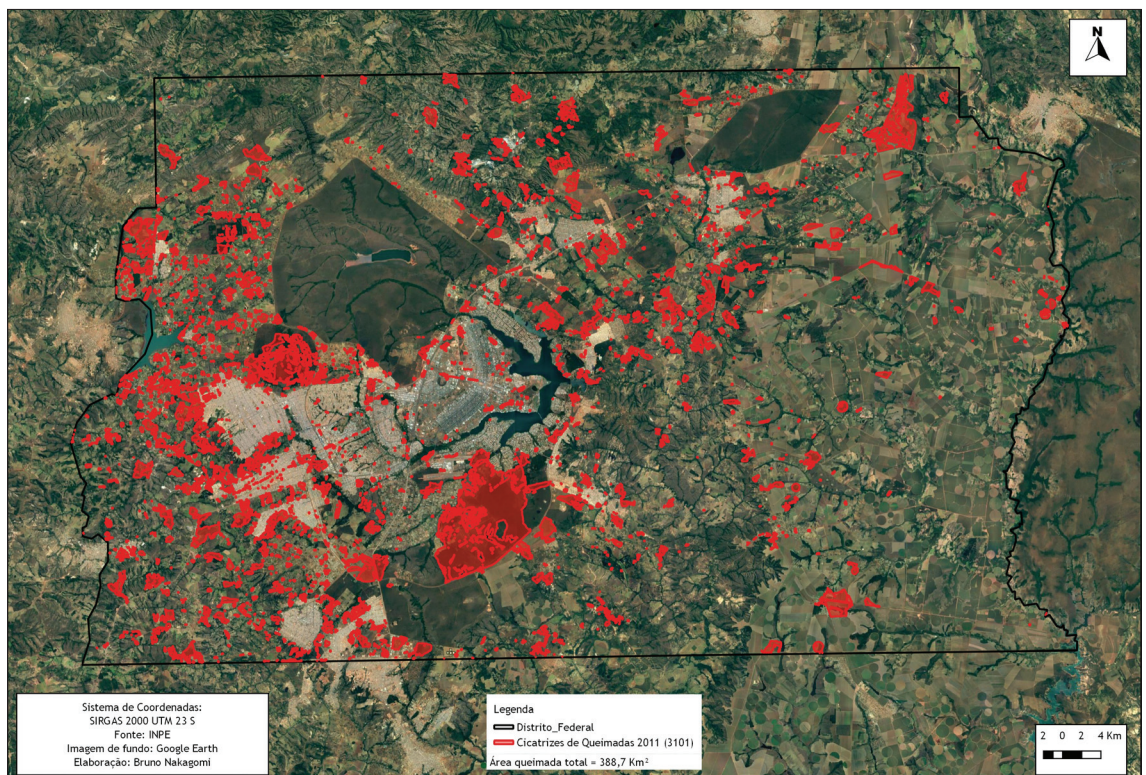


Fig. 2 - Cicatrizes de queimada no DF - 2011.

Fig. 2 - Burn scars within the DF - 2011.

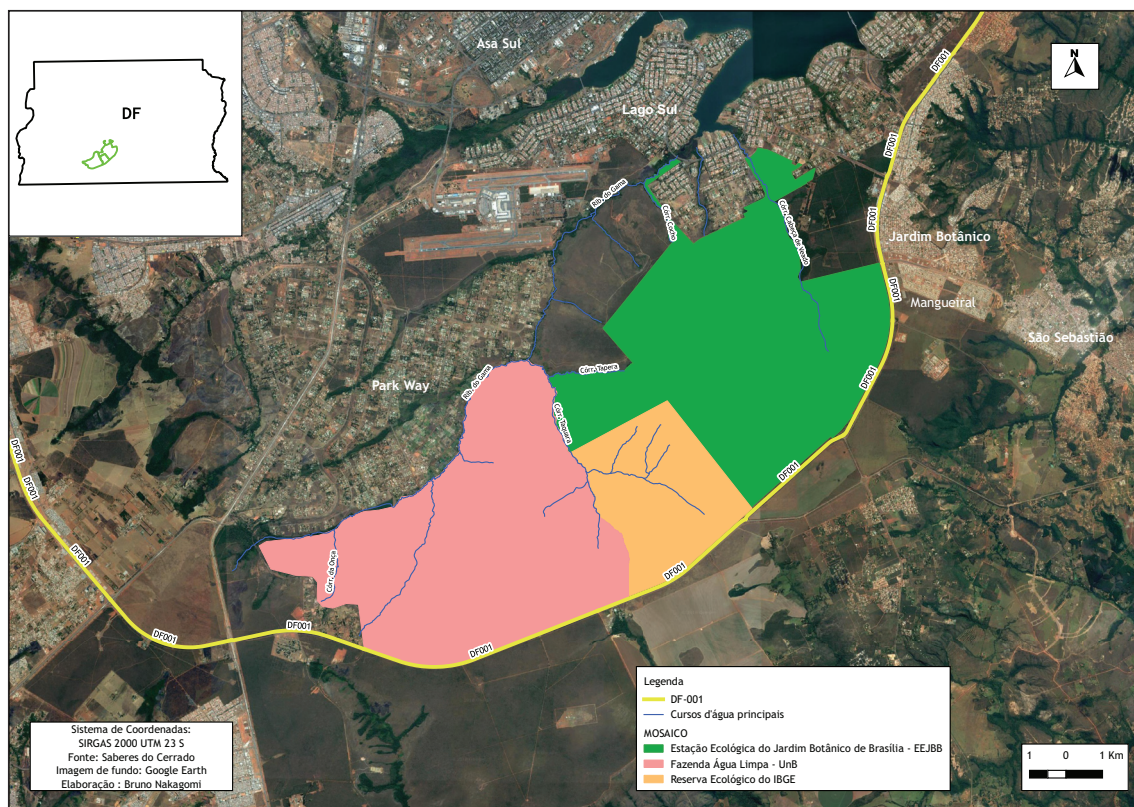


Fig. 3 - Mosaico de áreas protegidas.

Fig. 3 - Mosaic of protected areas.

Metodologia

A construção de requisitos do sistema de alerta depende do reconhecimento das condições de ocorrência de incêndios florestais, dos processos de gestão da informação e das dinâmicas de instâncias decisórias no controle de eventos críticos. Contudo a ausência de séries históricas estruturadas e disponíveis de dados locais de incêndios florestais, em sistemas de informação do DF, levou a considerar a relevância da prévia análise urbana e ambiental e dos demais fatores associados ao quadro de ocorrências.

A metodologia aplicada para identificar os territórios de risco abrange o levantamento de dados e análise do processo de ocupação urbana e sua transformação histórica, desde a fundação de Brasília.

A primeira etapa consistiu na análise do impacto da urbanização sobre a área protegida, em termos de densidade ocupacional, traços populacionais e tendência ao insulamento. Esses dados, baseados em fontes imagéticas, cartográficas e estatísticas de população, foram estruturados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Na segunda fase, considerou-se o período 2010-2016, pois, em Brasília, o ano de 2011 foi o de maior criticidade em incêndios florestais recentes. Para este período,

foram levantados e agrupados os dados de focos de calor, obtidos a partir de satélites, constantes na base de queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O mapeamento resultante permitiu observar o arco do fogo da unidade de conservação e indicar as relações prioritárias para a elaboração de requisitos do sistema, que envolvem os fatores físico-geográficos, os traços populacionais e os efeitos das dinâmicas e condições meteorológicas.

A partir deste estudo de caso, a escala de análise será, posteriormente, ampliada para atingir outras unidades de conservação do DF, tendo em conta situações diferenciadas e aperfeiçoamento dos requisitos do sistema, em termos de sua complexidade e relevância.

Este sistema gestor, que se encontra em fase de pesquisa e desenvolvimento informático, poderá ser adequado a outros contextos e aplicado a outras áreas geográficas, com a integração de dados diversos: as notificações voluntárias de ocorrência de incêndios florestais por meio de aplicativos em dispositivos móveis, os componentes inerentes à logística de prevenção e combate do corpo de bombeiros, o mapeamento das zonas de maior vulnerabilidade, decorrentes tanto de condições ambientais quanto dos contingentes populacionais, além da atualização de dados dinâmicos, derivados das condições meteorológicas.

As atividades foram realizadas em quatro etapas inter-relacionadas: caracterização espacial e paisagística da área como etapa de identificação de territórios de risco; análise de dados associados a situação crítica de incêndios florestais; análise da contribuição voluntária de dados geográficos em aplicações com utilização de dispositivos móveis; e metodologia inerente ao desenvolvimento computacional do sistema com fusão de dados, tendo em vista a gestão de situações críticas. A investigação multidisciplinar obedeceu aos seguintes objetivos:

- Objetivos gerais
 1. Caracterizar ocupação de área de estudo e sua vinculação com situações críticas derivadas de IFS;
 2. Caracterizar recursos de aplicações em dispositivos móveis e metodologia de análise de dados para estruturação do sistema de alerta;
- Objetivos específicos
 3. Identificar relações intraurbanas associadas à recorrência de IFs;
 4. Identificar sistemas de informação e disponibilidade de dados associados a IFs;
 5. Identificar períodos críticos e dimensão espacial das recorrências;
 6. Identificar paisagens afetadas pelos IFs;

Materiais

O Cerrado era dominante na região do DF até 1955, marco temporal inicial da implantação de Brasília, inaugurada em 1960. Note-se que o predomínio do bioma, com suas variações paisagísticas, foi mantido apesar do processo de ocupação colonial que desde o século XVIII incluiu núcleos urbanos e práticas extensivas de agricultura e pecuária. Na atualidade, 58,2 % do território do DF já perdeu a vegetação nativa e as áreas remanescentes tendem à fragmentação, que decorre em grande medida da urbanização (DF, 2015).

Nesse quadro, o problema dos incêndios florestais (IF), em suas múltiplas dimensões, humana e ambiental, assume proporções de maior intensidade e risco, apesar de políticas e planos de prevenção e combate às situações críticas, na medida em que as áreas urbanizadas se aproximam de Unidades de Conservação (UC) e das Áreas de Proteção Permanente (APP), que visam à proteção do bioma e de seus recursos hídricos. A transformação acelerada das paisagens do Cerrado traz um componente de desafio à construção de políticas de ordenamento territorial e do envolvimento da sociedade local nas práticas de prevenção a incêndios florestais. Por outro lado, a análise urbana e o recorte espacial deste estudo de caso advêm da necessidade de se dar foco às relações que prevalecem nestas zonas de interface urbana, associadas às condições de preservação de paisagens naturais.

Caracterização da ocupação da área de estudo

A área de estudo é constituída pelo Jardim Botânico de Brasília (JBB) e sua Estação Ecológica (EEJBB), que detêm aproximadamente 5.000 ha, e uma zona de envolvimento de 3 km, denominada de Área de Influência Direta (AID), que está situada em meio aos bairros do Lago Sul, Jardim Botânico e São Sebastião, respectivamente alinhados de noroeste a leste. Esta configuração permite observar processos diversos de ocupação urbana, todos sustentados no domínio da habitação individual, mas caracterizados por elevada distinção socioeconômica (fig. 3).

Na vertente sul situam-se em sequência outras áreas protegidas, Reserva Ecológica do Roncador, administrada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Área de Relevante Interesse Ambiental Capetinga/Taquara, gerida pela Fazenda Água Limpa - Universidade de Brasília. E, mais a oeste, o Setor de Mansões Park Way (fig. 3).

A estrutura urbana atual que define a AID se superpõe a uma ocupação anterior e secular de fazendas, organizadas em grandes glebas, que deixaram poucos vestígios materiais. Dois estágios de ocupação após Brasília podem ser identificados, considerando as categorias de alta, média e baixa densidade (fig. 4).

Nos anos 60, o Lago Sul teve sua infraestrutura implantada e parcelamento criados por normativas, com traços de ordenamento que privilegiaram a proximidade da orla do lago artificial, frontal ao Plano Piloto, e com média densidade de ocupação. Por outro lado, a implantação urbanística do Lago Sul respeitou um relativo distanciamento das matas ciliares e de estuários de rios ou de pequenos cursos d'água, que passaram a desaguar no Lago Paranoá, recriando assim o cenário paisagístico. Já o Park Way, setor inicialmente suburbano, hoje dominado por condomínios, foi dividido nos anos 60 em parcelas de 2 ha, envolvidas por extensas áreas livres. Apesar da reocupação, está ainda enquadrado na classificação de baixa densidade.

De meados dos anos 80 em diante, nas áreas rurais situadas na vertente norte e leste, separadas da área da EEJBB pela rodovia DF001 e no entorno da bacia do Rio São Bartolomeu adjacente, são gradativamente disseminadas ocupações de caráter irregular, em condomínios fechados de pequenas parcelas e intensificada impermeabilização do solo, contribuindo para a redução de áreas de recarga de aquíferos e comprometimento de nascentes. Na conjuntura atual, essa zona, denominada de Jardim Botânico, enquadra-se na classificação de alta densidade. O setor de São Sebastião, a leste, com população de baixa renda, é outra área de alta densidade. A ocupação teve origem em antigo núcleo rural, que foi posteriormente adensado pela presença de olarias envolvidas com a construção de

Brasília. Esta área, situada no trecho de um corredor ecológico, passou por um processo acelerado de urbanização, que inclui o conjunto Mangueiral.

A tendência ao insulamento da EEJBB já foi demonstrada em análise espaço - temporal, considerado o período de 1964 a 2013 (M. Tavares, B. Nakagomi, 2016). Esse traço constitutivo das relações espaciais locais não só permite reconhecer um quadro de atenção ao papel da Unidade de Conservação, constituída pela EEJBB, mas é também uma das faces do problema da recorrência de incêndios florestais na área de estudo.

Incêndios Florestais no DF e Serviços de Informação

O problema de incêndios florestais, decorrentes da ação humana, afeta todos os biomas e é um dos principais fatores, associado ao desmatamento e à urbanização, de perda progressiva da biodiversidade no Brasil. Embora estejam em operação sistemas de monitoramento e controle de âmbito nacional e estejam em vigor planos de ação específicos, é determinante o papel dos agentes locais, considerando a gestão de situações críticas e a capacidade de estabelecer processos sistemáticos de prevenção, monitoramento e controle para neutralizar / minimizar os impactos de focos de incêndio, em especial, sobre áreas protegidas em situação urbana.

Note-se que a valorização das instâncias locais, em acordos de âmbito internacional, para a prevenção de situações de desastres está sendo enfatizada. O Marco de Sendai, de 2015, do qual o Brasil é signatário, em substituição ao Marco de Ação de Hyogo, que já contemplava a questão da resiliência das cidades aos processos de enfrentamento e adequação a situações críticas, traduz esse enfoque ao reconhecer que deve ser prioritária a atenção local.

Verifica-se que os sistemas de informação existentes (nacionais) identificam situações pós-evento e em conformidade hierárquica institucional da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC). A verificação de 2 registros do DF no Sistema Integrado de Informações - S2ID, do Ministério da Integração Nacional, que atende à PNPDC, para o período de 1990 a 2015, confirma os dados do DF já apresentados no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, de 2 incêndios florestais nos anos de 2007 e 2010 (CEPED/UFSC, 2012).

Aqui se depreende que esse sistema nacional somente se reporta a níveis mais elevados de intensidade e à demanda por apoio federal, financeiro e de recursos humanos, na contenção ou resposta aos eventos notificados (M. Kobiyama, 2006).

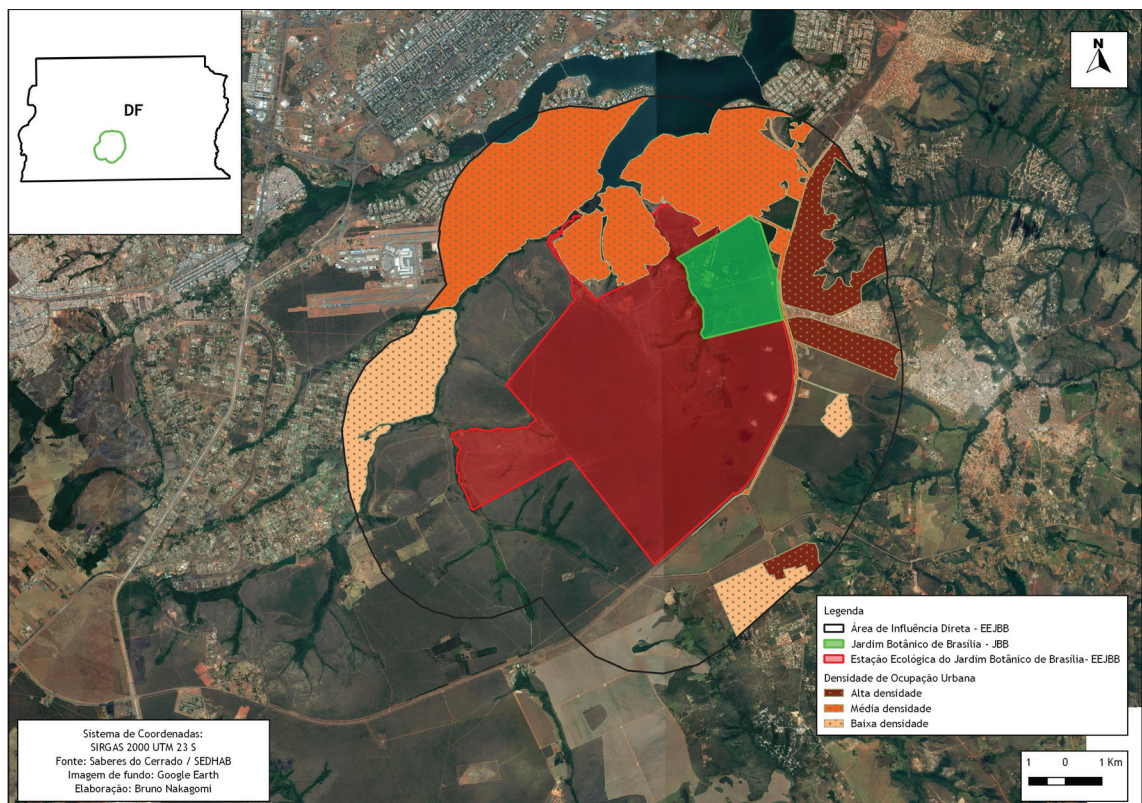


Fig. 4 - Densidade de ocupação urbana - 2013.

Fig. 4 - Density of urban occupation - 2013.

Outros 4 registros sobre incêndios florestais no DF estão disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Fogo (SISFOGO), do Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais - PREVFOGO / Ministério do Meio Ambiente (MMA). A consulta abrangeu o período de 2008 a 2016, no assunto área queimada do DF, identificando ocorrências nos anos de 2008, 2009, 2010 e 2011 e respectiva mensuração de áreas: 32, 93 ha; 0,13 ha; 1988,73 ha e 2168,72 ha. Embora os registros sejam escassos, a sequência confirma o crescimento da extensão de áreas atingidas (IBAMA, 2016).

A situação do DF quanto à recorrência anual dos incêndios florestais e também quanto a sua intensificação pode ser observada em termos da extensão de áreas queimadas, apesar da existência de política pública local, estruturada no Plano de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais, desde 1996, com o Decreto nº 17.431 e Decreto nº 37.549 (DF, 1996; DF 2016b). O Relatório de Áreas Queimadas em Unidades de Conservação, do Instituto Brasília Ambiental (IBRAM), torna público o problema da dificuldade de monitoramento das áreas protegidas no DF, amplamente afetadas por incêndios florestais (DF, 2016a). O Relatório faz utilização da disponibilidade de dados e imagens do serviço nacional de Base de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), porém reconhece que existem dificuldades para o monitoramento do Cerrado por sensoriamento remoto, que também já foram explicitadas em outros estudos (A.Pereira Junior, 2003).

Apesar das limitações quanto ao potencial reconhecimento de número de focos de calor e seus efeitos nas áreas atingidas, a Base de Queimadas (BQ) do INPE, junto aos dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), constituem fontes acessíveis de dados e podem contribuir efetivamente para elaboração de políticas públicas no que toca à prevenção de incêndios florestais em uma perspectiva regional e em áreas de fraco monitoramento local. E, no caso do INMET, a qualidade da aferição meteorológica é relativa, pois depende da localização de somente 2 estações automáticas para traçar condições gerais para o DF.

Cumprido, no entanto, observar que o sistema do INPE e suas séries históricas podem ser utilizados para a análise comparativa de condições locais no contexto da área de estudo e da aplicação de produção voluntária de informações geográficas.

O levantamento de dados para o DF, nas séries históricas de 1998 a 2017 da BQ do INPE, indica o ano de 2010 com o maior número de focos de calor detectados, considerando o satélite de referência. Indicação válida também para o bioma Cerrado em sua totalidade (INPE, 2017). Já os pontos coletados para a AID e EEJBB, considerando todos os satélites nos anos de 2010 a 2016, indicam o ano de 2011 como o de maior número de focos de calor.

Por outro lado, o levantamento anual para 2010 e 2011, com todos os satélites, relacionando o DF e unidades de conservação, torna evidente a incidência diferenciada relativa às unidades de conservação integral. Comparando-se três unidades de conservação de grande relevância ecológica para Brasília, a Estação Ecológica de Aguas Emendadas (ESECAE), o Parque Nacional de Brasília (PNB) e a EEJBB, observa-se que prevaleceu para as duas primeiras o ano de 2010 como o de maior número de pontos detectados (INPE, 2017). Para efeito de verificação do ano mais crítico entre 2010 e 2017, segundo os focos de calor da base do INPE, o ano de 2010 seria o mais crítico para o DF e o de 2011 o mais crítico para a área de estudo, conforme dados processados no Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A comparação entre número de focos e extensão de áreas queimadas em Unidades de Conservação (UC) e outras áreas protegidas subordinadas ao IBRAM/DF, agência ambiental do DF, apresentados no Relatório de Áreas Queimadas, acima referido, demonstra que a dinâmica dos incêndios florestais é mais complexa do que o registro dos focos de calor é capaz de expor. Note-se que este relatório não contempla dados relativos à Estação Ecológica do JBB e o ao Parque Nacional de Brasília (PNB) por se constituírem em unidades com gestão diferenciada.

No ano de 2010, para efeito comparativo, a ESECAE, que tem área de 9.372,37 ha, teve identificados 8 focos de calor e uma extensão de área queimada de 1.491,71 ha, correspondendo a 15,92 % do seu território e 65,62 % do total de 2273,19 ha da área atingida das unidades do IBRAM. Sendo 125 o total de focos de calor identificados para 28 unidades afetadas (DF, 2016).

Em 2011, considerando-se, porém, que foram atingidas 45 unidades, distribuídas no território do DF, e que foram expostos aos incêndios florestais um total de 1862,7 ha, incluindo 130, 75 ha da ESECAE, tende-se a observar que o ano de 2011 está entre os mais críticos para o DF, no período analisado de 2010 a 2017 (DF, 2016).

O Jardim Botânico Brasília e sua Estação Ecológica, no ano de 2011, tiveram uma extensão de área queimada da ordem de 2.500,00 ha, do total de área protegida de aproximadamente de 5.000 ha, segundo o Relatório de Atividades do JBB para o período (DF, 2011). Os dados de cicatrizes do DF, de 2011, extraídos da base do INPE, com total de área queimada superior a 380 km², representados na fig. 2, demonstram a dispersão das áreas atingidas de menor extensão e a ocorrência em larga escala sobre a área do Mosaico.

Na utilização dos dados da BQ do INPE não está propriamente em questão a precisão da localização dos focos e sua incapacidade de reconhecimento de focos pouco extensos e de baixa intensidade, como

outros estudos já acentuaram (A. P. Júnior, 2003). Mas interessa observar o potencial de resposta, em paralelo a outras análises, para as condições espaço-temporais das ocorrências.

Dados da Base de Queimadas do INPE e Incêndios Florestais na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília - EEJBB

A análise do quadro de Incêndios Florestais na EEJBB parte dos dados de focos de calor retirados da Base de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), considerando a série acumulada no período de 2010 a 2016, que foi objeto de processamento e mapeamento no Sistema de Informação Geográfica (SIG) do Projeto Saberes do Cerrado. Nesse período, foram detectados 354 pontos no interior da área de estudo. A distribuição espacial e temporal desses focos permite reconhecer o que denominamos de arco do fogo associado à EEJBB, assim serão considerados os dados totais e parciais, por período de seca ou chuvoso.

O ano de 2011 concentra a maioria dos focos, no total de 161. Os pontos detectados nos demais anos ajudam a observar o processo de recorrência. Em 2012 e 2015 nenhum foco foi identificado no interior da Unidade de Conservação (EEJBB). Nos anos 2010, 2013, 2014 e 2016 a proporção de ocorrências internas também é bem inferior às externas à EEJBB, conforme QUADRO I. Observa-se que essa distinção ano a ano permite situar o quadro espacial e temporal dos focos, considerando-se a dinâmica após o incêndio florestal de 2011 (DF, 2011).

A localização de focos indica visualmente a prevalência da relação com a rodovia DF001 e com as áreas de baixa e média densidade de ocupação urbana, anteriormente descritas. Porém, metodologicamente, consideramos circunscrever a análise da recorrência à distribuição de focos de calor por quadrantes, conforme fig. 7, e por períodos de criticidade. O objetivo é trabalhar a dimensão quantitativa por áreas de envolvimento, mas também associar os registros assim agregados por localização ao seu fluxo temporal. Esses dados, desta forma, serão úteis na comparação com os registros das condições meteorológicas da base de dados históricos (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e na análise futura de outros fatores.

A série acumulada de focos de calor no período de 2010 a 2016, por quadrantes e no período de seca (abril- setembro), demonstra que prevalecem quantitativamente os quadrantes 3 e 4, em relação aos demais, e setembro, é o mês que concentra temporalmente a maioria dos registros, considerando os sete anos em análise. Conforme QUADROS I e II e figs. 5 e 6. O período de seca de abril a setembro foi adotado, embora existam variações anuais, para compatibilizar esta pesquisa com as análises de longo prazo de dados do INMET quanto aos padrões e predominâncias de ventos para o DF, tendo por base a Estação Brasília (código 83377) (INMET, sd). Corrobora também para essa periodização a análise de dados do INPE para o DF com o reconhecimento da redução histórica de focos de calor a partir de outubro (INPE, 2017).

QUADRO I - Focos por ano - período de seca e chuvoso.

TABLE I - Fires per year - dry and rainy season.

Quadrante	Zona	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		Total
		S*	CH*	S*	CH*	S*	CH*	S*	CH*	S*	CH*	S*	CH*	S*	CH*	
Q1	EEJBBB	0	0	12	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	17
	AID	2	0	20	0	0	0	5	0	27	0	2	1	4	1	62
Q2	EEJBBB	0	0	17	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	20
	AID	3	2	6	1	1	0	1	0	3	0	2	6	9	0	34
Q3	EEJBBB	0	0	11	0	0	0	5	0	3	0	0	0	2	0	19
	AID	11	1	20	0	2	0	12	0	11	8	33	1	4	3	108
Q4	EEJBBB	2	0	8	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	12
	AID	5	0	66	0	1	0	4	0	2	0	4	0	1	0	83
Total	EEJBBB	2	0	48	0	0	0	5	0	13	0	0	0	2	0	70
	AID	21	3	112	1	4	0	22	0	43	8	41	8	17	4	284
	Área de estudo	26		161		4		27		64		49		23		354

territorium 26 (I)

QUADRO II - Focos mensais - período de seca.

TABLE II - Monthly fires - dry season.

Mês	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		Total
	EEJBB	AID	EEJBB	AID	EEJBB	AID	EEJBB	AID	EEJBB	AID	EEJBB	AID	EEJBB	AID	
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maio	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Junho	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Julho	0	5	5	5	0	3	0	1	0	0	0	1	2	17	39
Agosto	0	4	0	7	0	1	0	3	5	12	0	17	0	0	49
Setembro	0	7	40	103	0	0	5	18	8	31	0	23	0	0	236
Total	5	18	45	115	0	4	5	22	13	43	0	41	2	17	331

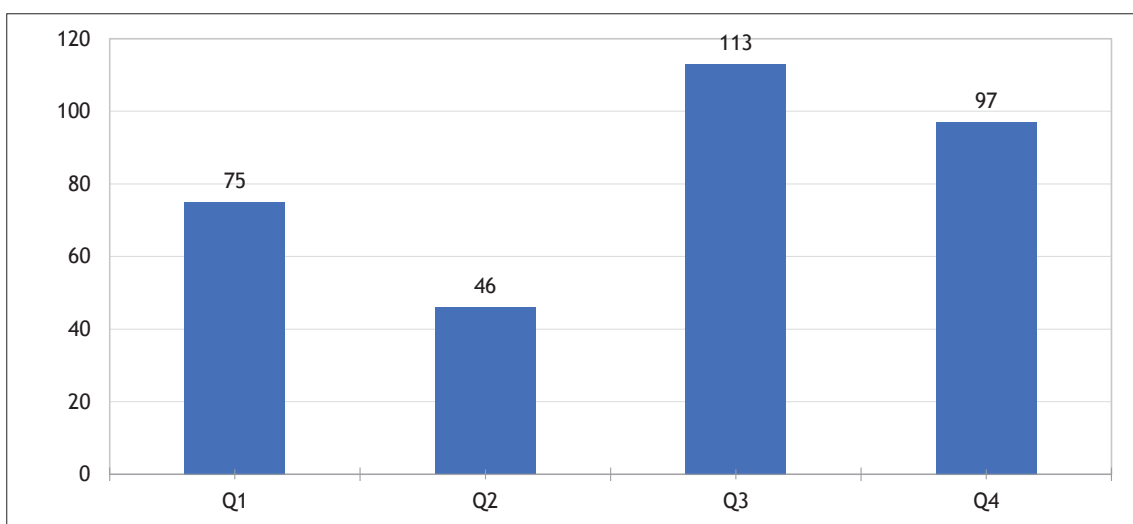


Fig. 5 - Focos por quadrante 2010 - 2016 / Seca.

Fig. 5 - Fires per quadrant 2010 - 2016 / dry season.

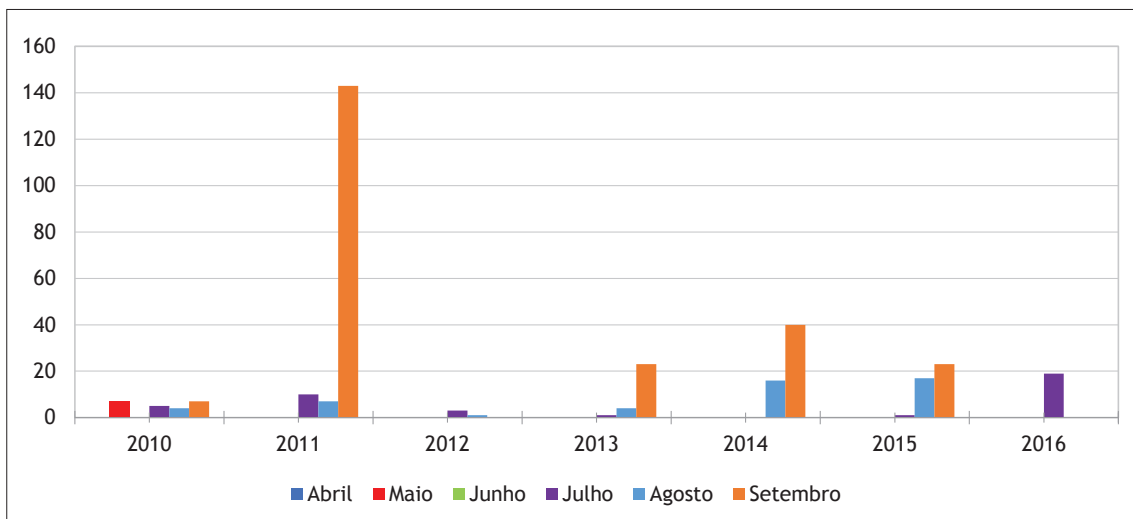


Fig. 6 - Focos mensais 2010- 2016 / Seca.

Fig. 6 - Monthly fires 2010 - 2016 / dry season.

Para dar continuidade à análise desse quadro de criticidade observado no tempo de seca, durante os anos de 2010 a 2016, optamos por verificar de forma mais detalhada os registros de focos de calor do ano de 2011, no mês de setembro e nos dias 7, 8, 9 e 10, tendo em conta ser esta fase a mais crítica do período em estudo.

A agregação por quadrantes (Q) leva à verificação de que o Q1 e o Q4 constituem as áreas de maior incidência de registros, conforme QUADRO III e fig. 7. Observando-se o contexto espacial (fig. 1, fig. 2) fica evidenciado que a prevalência de números de focos, portanto de maior risco, deriva, no ano de 2011, da relação de contato com zonas de baixa e média densidade de ocupação, ficando o Q3, na área delimitada pela rodovia DF001, em terceiro lugar no número de registros identificados.

Resta ainda observar a relação da localização dos registros, desses dias de setembro de 2011, com a variação de sua temporalidade. Os horários dos 140 pontos identificados na base do INPE, para efeito de análise, foram agregados em intervalos de 2 em 2 horas,

no ciclo de 24 horas e considerando os 4 quadrantes, conforme QUADRO III. A partir daí foi possível concluir que 117 focos de calor estão incluídos no período de 12:01 às 24:00 h e perfazem 83,57 % do total de focos.

Complementando a análise para outros períodos do dia, temos 83 focos identificados entre 12:01 e 18:00 h, que correspondem a 59,8 %. No período de 12:01 às 14:00h foram identificados 26, correspondendo a 18,57 %. E, no período da madrugada, de 00:01 a 2:00 horas foram registrados 23 pontos, que constituem 16,2 % do total de 140. Entre 2:01 e 12:00 h não há ocorrência de registros de focos na base de queimadas do INPE. Do mesmo modo, não ocorreram registros entre 14:01 e 16:00 h. Note-se que há prevalência de cobertura dos satélites no período vespertino e noturno.

Esta temporalização dos dados, acompanhada da análise espacial, conforme a localização nos quadrantes, permite apreender também a concentração dos focos ou sua propagação, tal como indicado nos quadrantes 1,3,4

QUADRO III - Focos por quadrante.

TABLE III - Fires per quadrant.

Dia	Quadrante 1	Quadrante 2	Quadrante 3	Quadrante 4	Total
07/set	1	10	0	0	11
08/set	20	5	5	26	56
09/set	10	0	16	42	68
10/set	0	0	1	4	5
	31	15	22	72	140

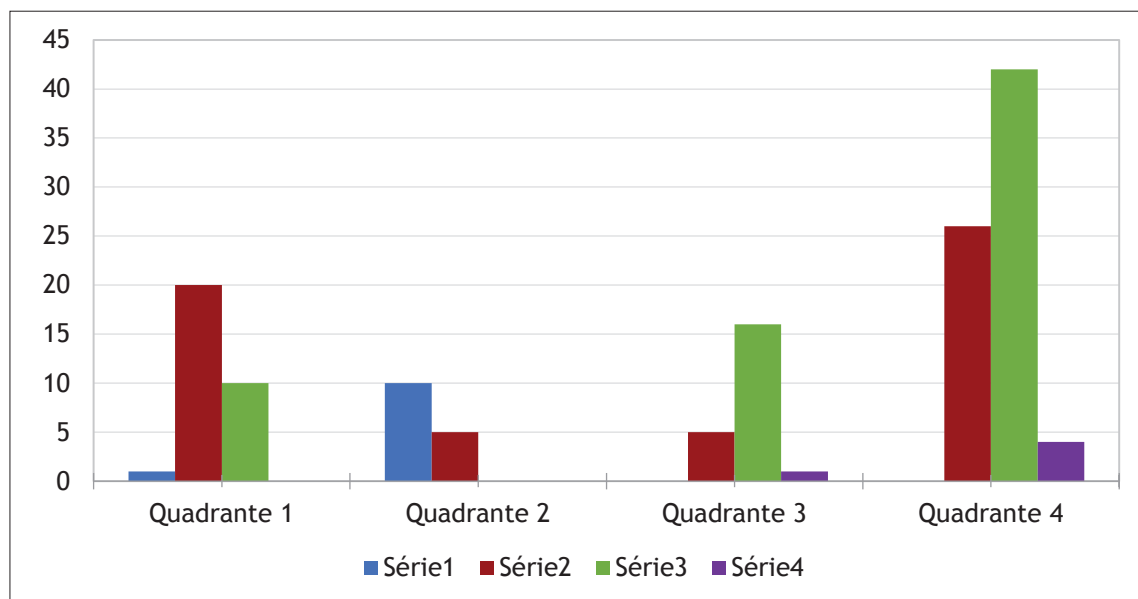


Fig. 7 - Focos por quadrante no período crítico de setembro de 2011.

Fig. 7 - Fires per quadrant in the critical period of September 2011.

da fig. 8. Note-se que não há referência, neste caso, à intensidade desses focos, apenas a relação entre espaço e tempo está presente na elaboração. A separação por quadrantes, como exemplificado no QUADRO IV, ilustra não só os dias de maior número de registros, mas também os seus horários de maior incidência diária. Observe-se que é esperado um maior número de registros de focos de calor nos períodos do dia em que se conjugam, criticamente, diversos fatores, ou seja, altas temperaturas, baixíssima umidade relativa do ar e ventos com maior velocidade. O diferencial que se pode depreender nesta análise está relacionado ao peso a ser atribuído à dimensão territorial e sua conjugação aos fatores meteorológicos, já que o ato propulsor da ignição é totalmente imponderável, mas possível de monitoramento e prevenção.

A relação de distribuição e de concentração será melhor aferida na sequência da pesquisa, que envolverá análise de registros de campo de agentes de combate e prevenção aos IF. Nos dados específicos do Quadrante 4, conforme fig. 9, é apreensível a sequência temporal de 10 horas consecutivas de focos, do período das 16:01 h do dia 08 até 2:00 h do dia 09, com retorno de registros no período após as 12:00 h. A mesma análise é possível realizar para os demais quadrantes, em especial para aferir a dinâmica de início e ausência posterior de registros.

Dados meteorológicos do INMET relativos à situação crítica de 2011

A situação meteorológica dos dias 7, 8, 9 e 10 de setembro de 2011 foi reconhecida a partir de dados adaptados da base BDMEP, Estação 83377 (a mais próxima da área de estudo), do INMET. O QUADRO V, no período das 15:00 horas, indica a direção do vento de origem Norte (36 ou N), intercalada com a do Noroeste (32 ou NW), com umidade relativa do ar de 10 a 14 %, além de temperaturas de 30.5 °C, 31.1 °C e 32.3 °C, respectivamente entre as menores taxas de umidade relativa do ar e as maiores temperaturas dos primeiros dez dias de setembro. Sendo que, nesse horário, no dia 09 e no dia 10 ocorrem as velocidades de 5 e 6 m/s, entre as mais elevadas em relação às demais medições de 1 a 10 de setembro, com exceção do dia 4, com 7 m/s. No período noturno, a medição realizada às 21:00 h indica situação de movimento de ar calma e umidade relativa acima de 30 %. Em paralelo, a fig. 8 apresenta uma sequência espacial de focos no dia 08 que pode ser relacionada à direção do vento Norte e ao fator do relevo em alicive, na direção da DF001, que está situada em linha de cumeada, na cota 1.130 m.

Note-se que a prevalência da semana anterior entre os dias 1 e 06 de setembro no horário das 15:00 horas foi do vento

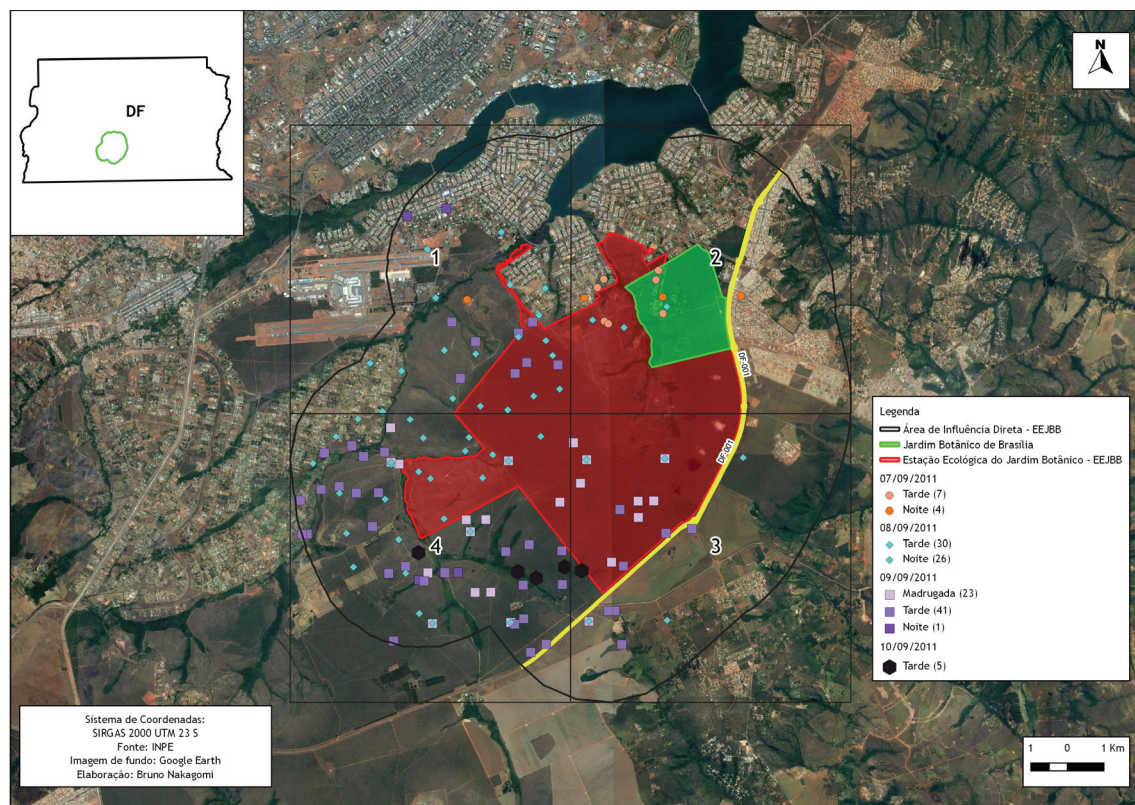


Fig. 8 - Focos de calor, por período do dia, em 7, 8, 9 e 10 de setembro de 2011.

Fig. 8 - Heat sources, by time of day, September 7, 8, 9 and 10, 2011.

QUADRO IV - Quadro horário de focos nos dias 7, 8, 9 e 10 de setembro de 2011.

TABLE IV - Timetable of fires on 7, 8, 9 and 10 of September 2011.

Quadro-Horário	Q1				Q2				Q3				Q4				
Mês	Setembro 2011 / N de focos																
Período horas/dia	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	Total
00:01:00-02:00:00											9					14	23
02:01:00-04:00:00																	
04:01:00-06:00:00																	
06:01:00-08:00:00																	
08:01:00-10:00:00																	
10:01:00-12:00:00																	
12:01:00-14:00:00			4								3					19	26
14:01:00-16:00:00																	
16:01:00-18:00:00		19	4		7	3				1	4	1	7	7	4		57
18:01:00-20:00:00		1				2				4				4			11
20:01:00-22:00:00	1		2		3									9	2		17
22:01:00-24:00:00														6			6
Total																	140

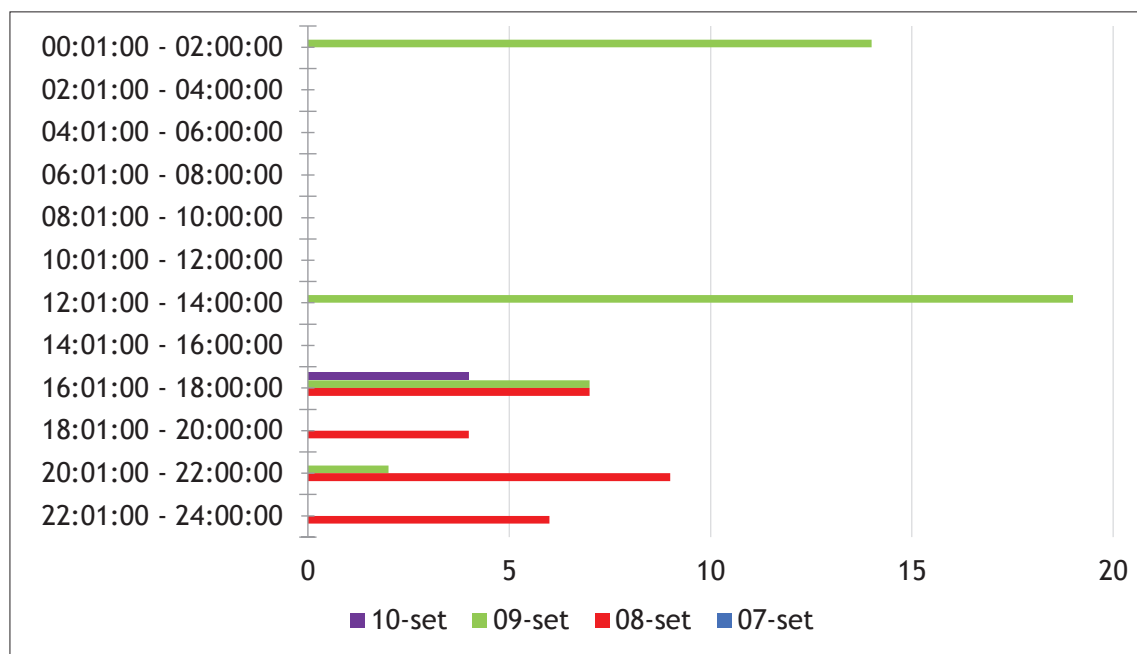


Fig. 9 - Focos por horários no quadrante 4.

Fig. 9 - Fires per time periods in quadrant 4.

Sudeste. Portanto, houve outra dinâmica de movimentos de ar na semana das ocorrências críticas. Por outro lado, é importante situar que o padrão no DF, no período de abril a setembro, segundo as Normais climatológicas do Brasil de 1961 a 1990, atualizadas no site do INMET, é o vento Leste, ou seja, como predominante, enquanto o

restante do ano é classificado como calmo (INMET, sd). Conclui-se que as alterações circunstanciais na direção dos ventos, no período de seca, são um dos fatores de peso a considerar na análise dos dados de previsão de risco, tendo em vista a instrução dos requisitos do sistema de alerta, em proposição neste projeto de pesquisa.

QUADRO V - Dados meteorológicos dos dias 07, 08, 09 e 10 de setembro de 2011 (INMET).

TABLE V - Meteorological data for 7, 8, 9 and 10 September 2011.

Dados meteorológicos	07/09/2011				08/09/2011				09/09/2011				10/09/2011			
	Hora Oficial de Brasília	dv	vv	ur	T °C	dv	vv	ur	T °C	dv	vv	ur	T °C	dv	vv	ur
09:00	36	4	16	25.4	5	3	22	25.5	0	0	21	26.8	0	0	31	24.5
15:00	14	3	13	30	36	1	11	30.5	32	5	10	31.1	36	6	14	32.3
21:00	5	1	22	23	0	0	31	23.2	0	0	31	23.2	0	0	35	23.2

Fonte: Inmet, com dados adaptados à hora oficial de Brasília (direção do vento - dv, velocidade do vento em m/s - vv, umidade relativa do ar - ur, temperatura em °C). Source: Inmet, with data adapted to the official time of Brasília (wind direction - dv, wind speed in m / s - vv, relative air humidity - ur, temperature in °C).

Caracterização da paisagem e focos de calor

A relação quantitativa e de distribuição de focos de calor na área de estudo foi realizada também segundo categorias de paisagem: antropizada urbana, antropizada agrícola ou vegetação natural, conforme fig. 10. Note-se o relativo equilíbrio numérico de focos nas distintas áreas antropizadas e a evidente maior concentração sobre a categoria de cobertura vegetal nativa. O detalhamento sobre o tipo de vegetação afetada na EEJBB, conforme pré-classificação paisagística do respectivo Plano de Manejo (DF, 2010), aponta para a necessidade da qualificação e mapeamento prévio do território quanto à cobertura vegetal, tendo em vista a gestão de situações críticas em que a relação da velocidade de propagação e persistência das ocorrências depende da massa de combustível vegetal e da sua potencial de resistência ao fogo (fig. 11).

O mapeamento, conforme fig. 11, de focos de calor de 2010 a 2016 sobre o tipo de vegetação da EEJBB revela que foram afetadas, em valores numéricos, as seguintes áreas: campo de murunduns (3), campo limpo (6), Cerrado ralo (1), Cerrado típico (48) e mata de galeria (3). Desta abordagem, se destaca a relação com o Cerrado típico (com presença arbórea e arbustiva), que domina a paisagem da EEJBB e está situada privilegiadamente nos quadrantes 1 e 3. A presença de maioria de focos sobre o cerrado típico, com presença de vegetação arbórea, e em Mata de Galeria, que corresponde a área úmida e florestada, é indicativa da intensidade e gravidade do quadro de riscos, nesse período estudado.

Por outro lado, o acesso à caracterização detalhada das fisionomias do Cerrado para o restante da área de envolvimento da EEJBB vai exigir trabalho de campo exaustivo, identificação e compilação de outras fontes, considerando que estudos de classificação de imagens de satélite disponíveis tendem a homogeneizar a variedade paisagística do Cerrado. No entanto, a comparação deste período com a situação resultante do incêndio florestal de 2005 conduz ao caráter de recorrência e identificação aproximada das mesmas zonas de origem dos focos (S. Correa, 2007).

Este quadro demonstra a necessidade de monitoramento dos fatores do ordenamento territorial facilitadores do processo de recorrência e de ações que contribuam para observar as transformações paisagísticas do Cerrado decorrentes da frequência dos incêndios florestais.

A produção voluntária de informação geográfica

Essas interações dependem de análises e monitoramento continuados da parte do poder público, porém já observamos a dificuldade existente quanto à infraestrutura de dados locais mais precisos. No entanto, cabe destacar que os atos causadores de queimadas e os decorrentes incêndios florestais ao atingirem unidades de conservação, situadas em território de urbanização progressiva, demandam dos agentes públicos a necessidade de atuar preventivamente no contato com as populações locais, responsáveis em geral pela origem dos focos de incêndio, mas também pela informação mais breve da ocorrência.

Nessa linha de investigação, tendo em vista a situação de recorrência dos incêndios florestais e a extensão de áreas atingidas, é que se propõe a utilização da colaboração voluntária na produção de informações geográficas que contribuam para a detecção precoce das ocorrências. A metodologia aqui apresentada de sistematização e análise dos dados retirados da base de queimadas do INPE e do INMET permitiu esta caracterização da área de estudo afetada pelos incêndios florestais. Os mesmos procedimentos poderão ser adotados para circunscrever outros cenários do DF, conjugados posteriormente a análises de suscetibilidade de longo prazo. Visa-se, assim, a identificação de territórios de risco e aperfeiçoamento de requisitos para estruturação de camadas de mapeamento do sistema de alerta, objeto de proposição deste projeto de pesquisa multidisciplinar.

A produção voluntária de informações geográficas, conjugada à gestão de riscos, tem sua relevância colocada na escala de observação e no reconhecimento local do problema, considerando que os habitantes da

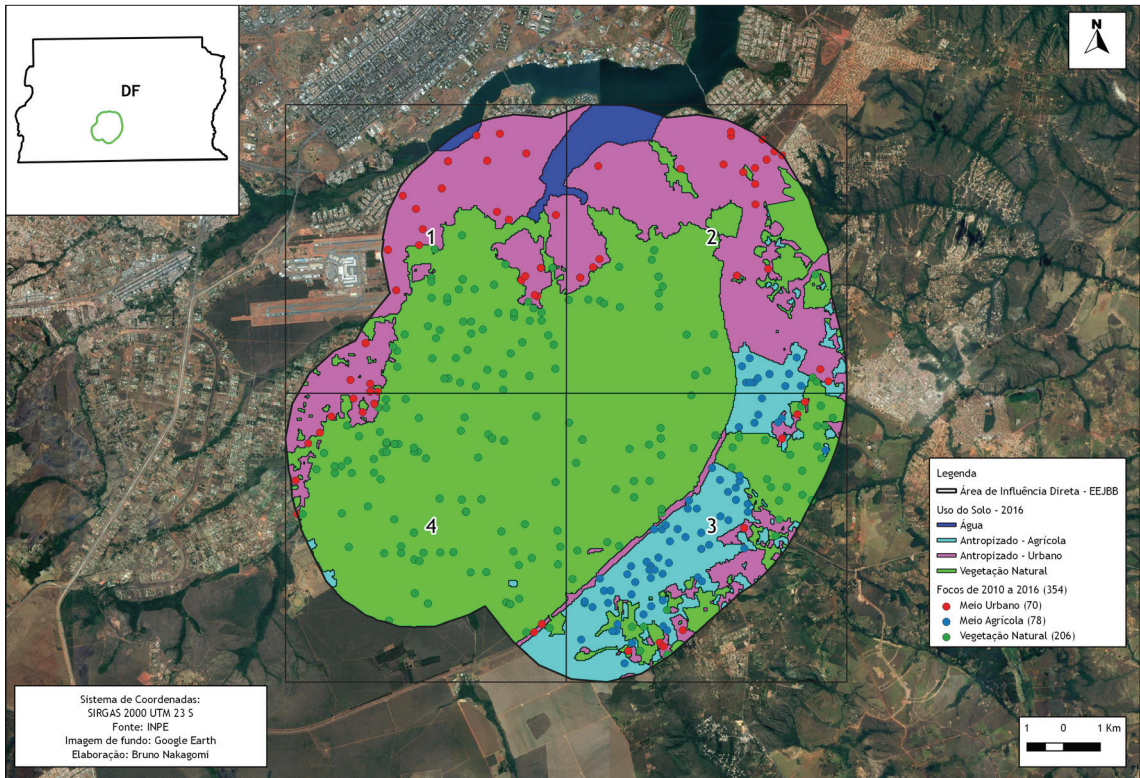


Fig. 10 - Focos de calor e categorias de paisagem.

Fig. 10 - Heat sources and landscape categories.

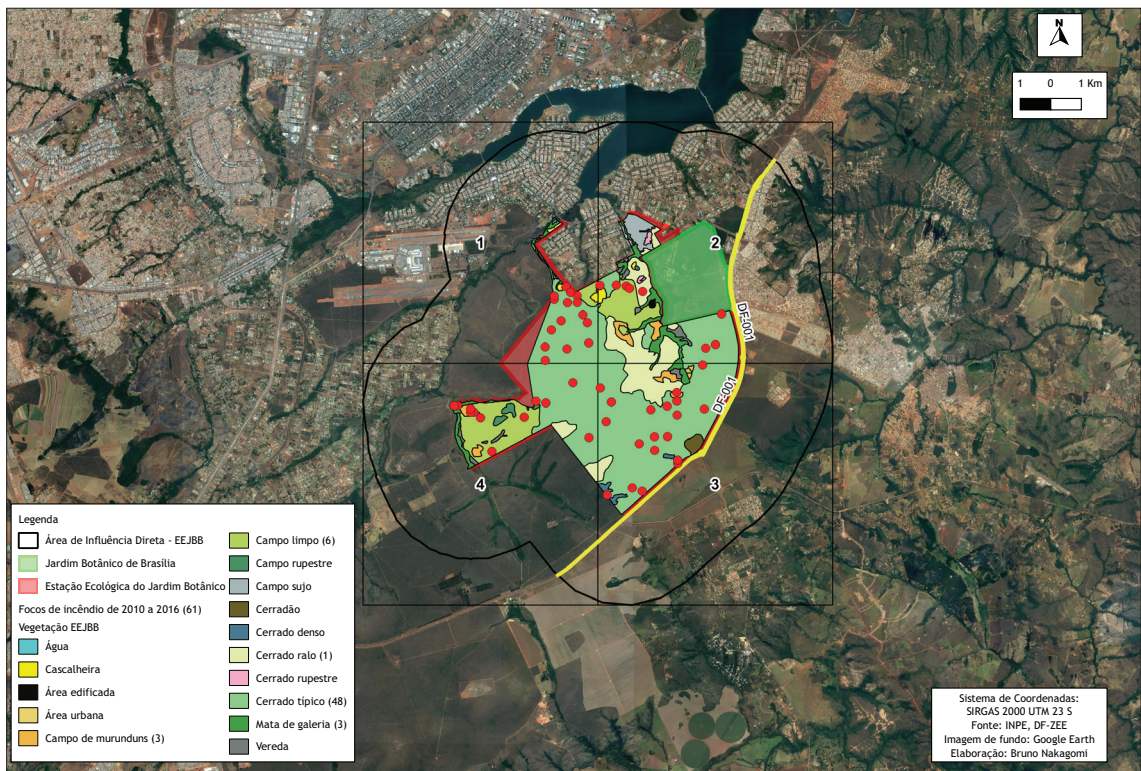


Fig. 11 - Focos de calor de 2010 a 2016 sobre o tipo de vegetação da EEJBB.

Fig. 11 - Heat sources from 2010 to 2016 over EEJBB's vegetation.

envolvência de áreas atingidas por incêndios florestais serão, se incorporados aos processos de gestão de riscos, os melhores agentes a favor da prevenção.

A estratégia do projeto do sistema de alerta consiste em incrementar a participação social no processo de detecção e favorecer a gestão da informação e tomadas de decisão em situação crítica, com notificações em tempo real. Inclui, ainda, orientar, em atividades de observação direta, a realização de registros fotográficos para monitoramento dos efeitos de queimadas nas paisagens do Cerrado, considerando o crescimento do número de ocorrências de incêndios, as perspectivas de mudanças climáticas e a tendência à urbanização sobre áreas protegidas em Brasília, DF.

A produção de informação geográfica nessa temática também contribuirá para estudos de percepção ambiental, com localização de dados e sistematização de séries históricas.

Considera-se que a produção da informação geográfica e imagética por voluntários no período crítico ou na observação pós - queimada remete a momentos diversos de apreensão do mesmo problema. Contudo, na primeira situação pressupõe-se uma consciência do risco imediato e o ato de registro da notificação é livre. Já na outra vertente o objetivo é disseminar a observação dos efeitos negativos e ampliar a consciência dos riscos de longo prazo inerentes à propagação de fogo nas áreas de cerrado situadas em meio urbano.

Entendem-se essas duas fases da produção voluntária de informação geográfica como formas colaborativas, de um lado, na execução de políticas públicas de prevenção e gestão de riscos, nos termos de *crowdsourcing*, e, de outro, na investigação sobre efeitos de médio e longo prazo dos incêndios florestais na transformação das fisionomias do Cerrado em situação de envolvência urbana, como práticas de *citizen science*.

A Análise de Requisitos para o Sistema de Alerta

A utilização do aplicativo, em sistema Android, pela população, com envio de notificações de texto, áudio ou imagem fotográfica, constitui o fato gerador da informação no sistema, em processo de desenvolvimento, que dependerá, no entanto, de fontes diversificadas para aferir completude e qualidade dos dados. O reconhecimento das zonas envolventes de áreas protegidas e suas tipologias de ocupação e uso do solo, consideradas na recorrência de relação histórica com os incêndios florestais, constituirá uma das camadas de informação para identificação de territórios de risco. No entanto, outras camadas de mapeamento serão também incorporadas para compor a análise de dados, desde a indicação de logística de apoio à atuação de corpo de bombeiros, infraestrutura de serviços de hidrantes,

caracterização de dificuldades de acessos e de trânsito em vias locais, além de níveis de declividade. Os dados meteorológicos e os dados de focos de calor do INPE, em séries históricas e em tempo real, serão também incorporados ao sistema.

Note-se que as unidades de conservação do DF, de vinculação estadual, são as entidades responsáveis, no primeiro estágio da informação, por gerir ocorrências de risco de incêndio em seu território com apoio de uma brigada de voluntários (DF, 2016 b). O projeto do sistema de alerta, representado na fig. 12, visa criar as condições de infraestrutura computacional para agilizar o processo de gestão da informação do Plano de Combate e Prevenção a Incêndios Florestais do DF, considerando todos os estágios de planejamento e combate às situações críticas. Contudo, prioritariamente pretende-se acelerar os procedimentos de monitoramento e controle no estágio inicial das ocorrências. A metodologia aplicada de fusão de dados, que envolve diversidade de fontes de informação, analisará procedimentos dos agentes e processos decisórios.

Antes de explorar o processo de fusão, foi necessário estruturar uma fase de análise de requisitos, iniciando com uma entrevista não estruturada, aplicada para a exploração do caso, para conhecer melhor o domínio e as variáveis que o compõe. O objetivo foi a obtenção das informações, tarefas e objetivos envolvidos na análise de situações, gerando um documento chamado de Análise de Tarefas Dirigida por Objetivos (*Goal-Driven Task Analysis - GDTA*). Esta entrevista foi feita com os integrantes do Corpo de Bombeiros de Brasília - para definir o que é mais relevante para eles e qual é a diferença que cada informação faz na decisão que deve ser tomada.

De acordo com os resultados da entrevista e a criação do GDTA, é possível identificar as palavras mais relevantes para o domínio, trazendo os tópicos das principais informações que devem ser identificadas em um alerta. Dessa forma, a representação de entidades que são importantes para a tomada de decisão foi definida. Como objetivo geral das ações do Corpo de Bombeiros, “preservar o meio ambiente, a vida e o patrimônio”.

Primeiramente, deve-se determinar a natureza preliminar da emergência para a alocação dos recursos, levando em consideração o tipo da emergência (incêndio, acidente, atendimento médico), o local e a existência de vítimas, como é visto com a representação do GDTA na fig. 13.

Após encontrar estes dados, é necessário determinar a natureza concreta da emergência para a alocação definitiva da equipe. Para tal, caracterizar as denúncias é parte vital do trabalho. Informações importantes em casos de incêndios estão indicadas nas fig's 14 e 15, lembrando que essas informações foram recolhidas da entrevista não estruturada feita com os integrantes do Corpo de Bombeiros de Brasília (contida no Anexo A).

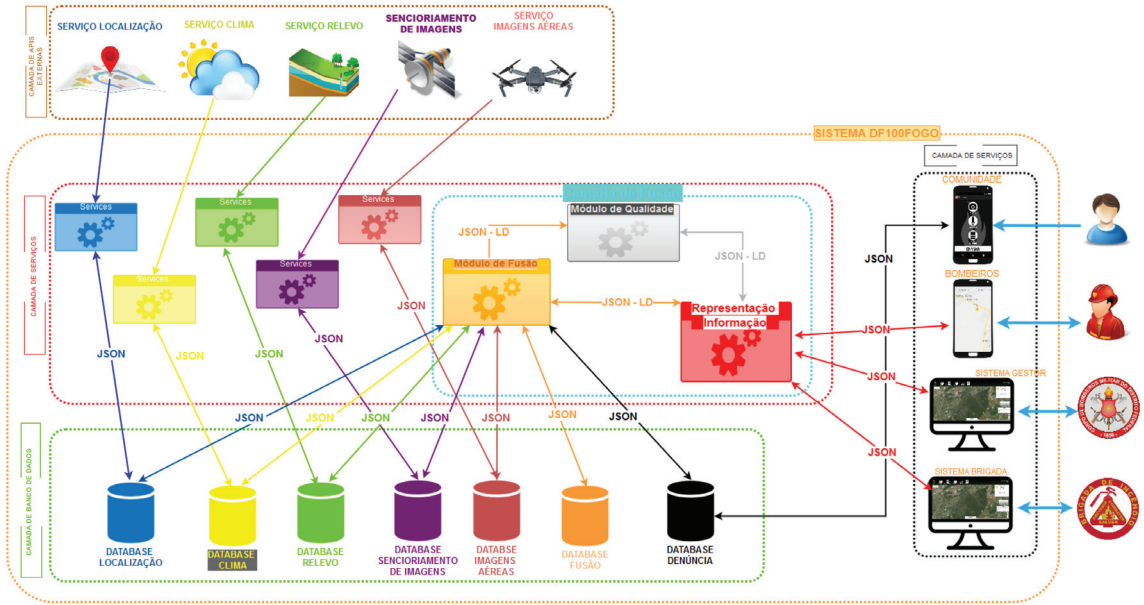


Fig.12 - Arquitetura do sistema.

Fig. 12 - System architecture.



Fig. 13 - GDTA: determinar a natureza preliminar da emergência.

Fig. 13 - GDTA: determine the preliminary nature of the emergency.

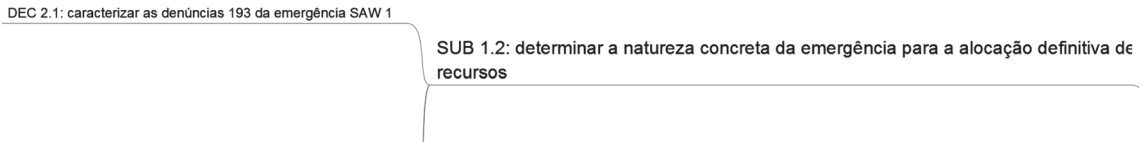


Fig. 14 - GDTA: determinar a natureza concreta da emergência.

Fig. 14 - GDTA: determine the actual nature of the emergency.

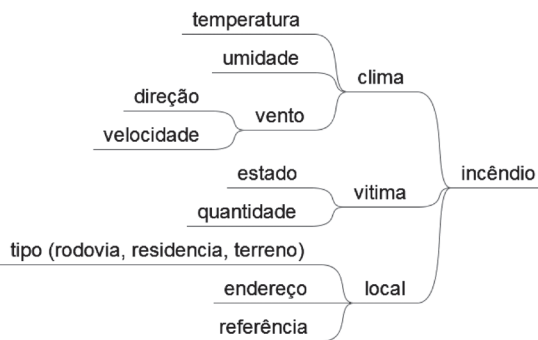


Fig. 15 - GDTA: Informações cruciais para a tomada de decisão.

Fig. 15 - GDTA: Critical information for decision making.

Dessa forma, há a identificação das informações cruciais que devem ser levadas em conta na fusão de dados e informações (que será explicada posteriormente), criando uma estrutura que servirá como modelo para a fusão.

Processo de Fusão de Dados do DF100Fogo

A fusão de dados e informações de múltiplas fontes desenvolvida neste trabalho tem o modelo JDL como base, em que a fusão de dados auxilia diretamente na consciência situacional da equipe especialista do domínio. Este trabalho não terá como foco a qualidade de dados, e sim a fusão e como esta pode contribuir para análise de situações.

Considerando os níveis 1, 2 e 3 do modelo JDL, foi proposto um processo dividido em três módulos, integrados aos níveis de fusão já mencionados nos capítulos anteriores. Para obter indícios de que a fusão de dados e informações pode ser aplicada em um contexto como o do projeto DF100Fogo, foi desenvolvido como base um processo para a obtenção de avisos de incêndio e a transformação do mesmo em uma situação. Seu fluxo pode ser visualizado na fig. 16.

O processo de fusão de dados e informações proposto é separado em três fases: a fase 1, da qual consiste em obter o alerta e fazer uma verificação gramatical de todo o seu texto, identificando verbos, seu tempo verbal, palavras em singular e plural, entre outros.

Na fase dois, é feita uma estruturação do alerta e quais informações devem ser buscadas em seu texto. O próximo passo é identificar as palavras relevantes, criando um novo conjunto de informações selecionadas de acordo com a estrutura que foi criada anteriormente, salvando-a em um banco de dados criado especialmente para o armazenamento de alertas já em fase de fusão, contendo somente informações prioritárias para a tomada de decisão.

Com os passos anteriores concluídos, é iniciada a fase 3 do processo, identificando a sinergia de informações dos alertas, fundindo as informações complementares. Para a criação de uma situação final com mais relevância, o último passo é a requisição de dados climáticos em uma API de um site de meteorologia, identificando a condição climática e relacionando-a com as informações encontradas no alerta. É feita uma comparação entre elas, trazendo um possível resultado de projeção futura, do que poderá acontecer com aquele caso de incêndio, podendo se alastrar ou ser contido pela equipe com rapidez e facilidade.

Resultados e discussão

O sistema de alerta - estrutura e processos decisórios

A proposição do sistema de alerta (DF100Fogo), que advém de parcerias institucionais entre IBICT, UFSCar,

JBB, além da UNIVEM, traça dois focos de intervenção com dimensões inovadoras: a interação com sociedade local e o monitoramento em tempo real, com utilização de geolocalização, estruturação de camadas com mapeamento de territórios de risco, e fusão de dados de diversas fontes dinâmicas. Esta estrutura do sistema, que dá suporte ao processo integrador de dados e facilitador de tomada de decisões em situações críticas, direciona a pesquisa em tecnologias de informação e comunicação, cuja experimentação em serviço público local será realizada pelo Corpo de Bombeiros Militar do DF, entidade responsável diretamente pelo combate aos incêndios florestais, com apoio das brigadas locais.

O DF100Fogo inclui um aplicativo móvel para o sensoriamento participativo da comunidade (*crowdsourcing*), que tem a função de enviar notificações/avisos sobre focos de incêndio, sob forma de áudio, foto e texto (fig. 12).

Em complemento, há uma aplicação servidora que processa, integra e relaciona dados de diversas fontes complementares às notificações. Um sistema administrador permite ainda a visualização das informações de situações de incêndio em mapa georreferenciado (fig. 12).

Os avisos podem ser visualizados também em um aplicativo desenvolvido especialmente para os brigadistas e bombeiros da região do DF, que fazem a patrulha no local, facilitando o deslocamento de equipes de combate e alocação de recursos (fig.12).

Fase 1 - Obtenção e Preparação dos Dados

O primeiro passo desse fluxo foi a obtenção de um alerta de incêndio. Foram identificadas duas formas para conseguir esses dados:

- A criação de um falso alerta, um texto simples descrevendo uma ocorrência de incêndio;
- Uso de alertas já existentes no sistema de gestão do DF100Fogo, que recebe informações da comunidade para o auxílio do combate ao incêndio.

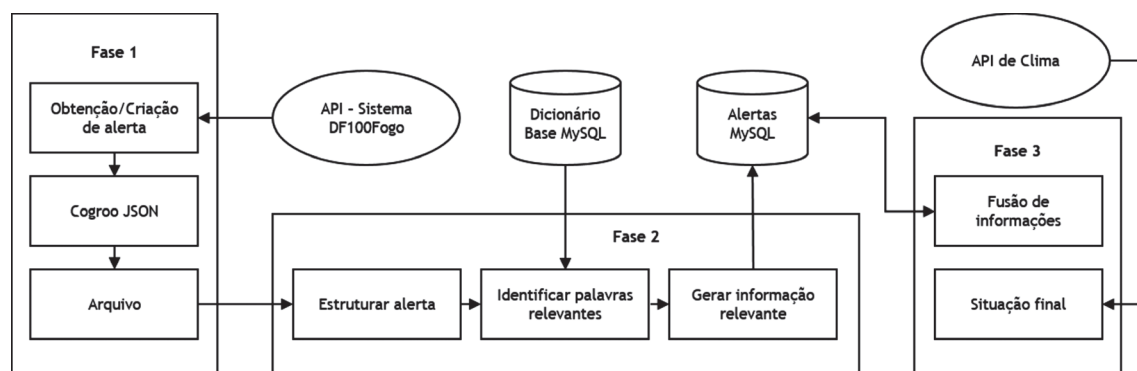


Fig. 16 - Processo de fusão de dados e informações.

Fig. 16 - Process of merging data and information.

Esta fase corresponde ao nível 0 de fusão de dados, seguindo o modelo JDL. Lembrando que, para este trabalho, é utilizado somente o texto da notificação, de forma totalmente manual. É interessante também citar que existem funcionalidades para transcrever o áudio enviado, contribuindo para obter mais dados da notificação.

80

Identificando frases que podem ser consideradas como exemplo de texto enviado nos alertas via aplicativo:

- “O fogo está na direção da rua 00 no lago oeste, mas para dentro do parque nacional”;
- “Está acontecendo um incêndio no parque nacional a chama está com um metro e meio mais ou menos e a fumaça está preta”;
- “Uma pessoa se queimou no parque nacional tentando apagar as chamas e precisa de atendimento urgente”

Com estes exemplos, temos as informações iniciais necessárias para a tomada de decisão do Corpo de Bombeiros, pois identifica a existência de fogo, fumaça, vítima e referências sobre o local da ocorrência e pontos de localização. As palavras esperadas no processo de fusão são demonstradas na QUADRO VI.

Transformamos o texto do aviso em um JSON (*JavaScript Object Notation*) criado por uma biblioteca criada na linguagem Java chamada Cogroo (<http://cogroo.sourceforge.net/>). Inicialmente, o Cogroo é utilizado como corretor gramatical acoplável ao LibreOffice, editor de textos *open-source*; porém, é possível utilizar a biblioteca para a obtenção do JSON que é utilizado no editor para a correção gramatical. Com a obtenção deste objeto, o mesmo foi salvo como um arquivo com a extensão “.json” para futuras consultas. Um exemplo deste JSON foi criado e está contido nas fig’s 17 e 18.

QUADRO VI - Dados esperados para a fusão.

TABLE VI - Expected data for merging.

Categoria	Dados esperados	Exemplos
Fogo	Palavra de referência	Fogo, fogaréu, chama (s), incêndio, queimada
	Tamanho (qualitativo ou quantitativo)	Um metro, um metro e meio, dois metros, alto, baixo, grande, pequeno
Fumaça	Palavra de referência	Fumaça
	Cor	Branco, preto, marrom, amarelo, vermelho, verde
	Espessura	Grossa, fina, forte, fraca
	Status	Embranquecer, aumentar, diminuir, reduzir
Local	Conjunto de palavras para referência	Próximo, perto, longe, distante, frente, atrás, lado
	Direção	Direção, sentido
	Locais próximos	Lago, parque, centro, zona
	Proximidade a moradas	Rua, avenida, prédio, casa, residencial, residência, condomínio
Vítima	Quantidade	Uma, duas
	Palavra de referência	Pessoa (s), moça, mulher, cara, homem, menina, menino, moleque, indivíduo
	Estado da vítima	Sangrando, machucado, queimado, ferido, grave
Palavras relevantes	Palavras que auxiliem no entendimento da situação, mas que não cabem diretamente em alguma dessas categorias	Muro, nascente, asfalto, praça

```

"syntacticChunks": [
  {
    "tokens": [
      {
        "features": "M=S",
        "POSTag": "art",
        "lemmas": [
          "o"
        ],
        "lexeme": "o"
      },
      {
        "features": "M=S",
        "POSTag": "n",
        "lemmas": [
          "fogo"
        ],
        "lexeme": "fogo"
      }
    ],
    "TAG": "SUBJ"
  },
  {
    "tokens": [
      {
        "features": "PR=3S=IND",
        "POSTag": "v-fin",
        "lemmas": [
          "estar"
        ],
        "lexeme": "está"
      }
    ],
    "TAG": "P"
  },
  {
    "tokens": [
      {
        "features": "-",
        "POSTag": "prp",
        "lemmas": [
          "em"
        ],
        "lexeme": "em"
      },
      {
        "features": "F=S",
        "POSTag": "art",
        "lemmas": [
          "o"
        ],
        "lexeme": "a"
      },
      {
        "features": "F=S",
        "POSTag": "n",
        "lemmas": [
          "rua"
        ],
        "lexeme": "rua"
      },
      {
        "features": "F=P",
        "POSTag": "num",
        "lemmas": [
          "00"
        ],
        "lexeme": "00"
      }
    ],
    "TAG": "SA"
  }
]

```

Fig. 17 - JSON produto da biblioteca Cogroo.

Fig. 17 - JSON CoGroo library product.

```

{
  "tokens": [
    {
      "features": "-",
      "POSTag": "prp",
      "lemmas": [
        "em"
      ],
      "lexeme": "em"
    },
    {
      "features": "M=S",
      "POSTag": "art",
      "lemmas": [
        "o"
      ],
      "lexeme": "o"
    },
    {
      "features": "M=S",
      "POSTag": "n",
      "lemmas": [
        "lago"
      ],
      "lexeme": "lago"
    },
    {
      "features": "M=S",
      "POSTag": "adj",
      "lemmas": [
        "oeste"
      ],
      "lexeme": "oeste"
    }
  ],
  "TAG": "ADVL"
}

```

```

{
  "features": "-",
  "POSTag": "conj-c",
  "lemmas": [
    "mas"
  ],
  "lexeme": "mas"
},
{
  "features": "-",
  "POSTag": "prp",
  "lemmas": [
    "para"
  ],
  "lexeme": "para"
},
{
  "features": "-",
  "POSTag": "prp",
  "lemmas": [
    "dentro_do"
  ],
  "lexeme": "dentro_do"
},
{
  "features": "M=S",
  "POSTag": "art",
  "lemmas": [
    "o"
  ],
  "lexeme": "o"
}

```

```

{
  "features": "M=S",
  "POSTag": "n",
  "lemmas": [
    "parque"
  ],
  "lexeme": "parque"
},
{
  "features": "M=S",
  "POSTag": "adj",
  "lemmas": [
    "nacional"
  ],
  "lexeme": "nacional"
}

```

Fig. 18 - Continuação e finalização do JSON produto da biblioteca Cogroo.

Fig. 18 - Continuation and finalization of the JSON CoGroo library product.

A importância da biblioteca Cogroo para o trabalho vem para a classificação e identificação de toda e qualquer classe gramatical das palavras contidas no texto, identificando pronomes, artigos, verbos, números e palavras em singular e plural. Dessa forma, não há a necessidade de redundância na procura de palavras. Pode-se citar como exemplo a palavra “está”, que é produto do verbo “estar”, destacadas na fig. 17. No conjunto “lemmas”, é possível identificar o verbo “estar”, radical da palavra contida no conjunto “lexeme”, que identifica a palavra “está” mostrada como a forma original da escrita do alerta.

É importante citar que as palavras esperadas no processo de fusão, mostradas no QUADRO VI, foram deduzidas de acordo com informações recolhidas no GDTA e na entrevista feita com o Corpo de Bombeiros, criando palavras-chave para a identificação de um caso de incêndio. Com essas palavras, foi criado também um dicionário base que será utilizado na fusão de dados, criando referências para a busca de palavras-chave do domínio. Para tal, o dicionário foi armazenado em banco de dados relacional - MySQL, gerando termos gerais (fogo, fumaça, local, vítima e outros) e específicos (cada termo geral terá palavras semelhantes ao contexto).

Fase 2 - Identificação da Situação

Esta é a primeira fase da fusão de dados que cria uma estrutura que seja entendida pelo computador. O JSON salvo anteriormente é requisitado para essa fase, varrendo os conjuntos de dados nele contidos e comparando cada palavra com os termos específicos do dicionário base, com o fim de entender a qual tipo de informação aquela palavra que é verificada naquele momento está relacionada. Seu fluxo é ilustrado na fig. 19.

Detalhando um pouco mais com um exemplo: o JSON salvo é comparado conjunto a conjunto e palavra por palavra com o dicionário criado. Supondo que existe a palavra “incêndio” no JSON; esta deve ser comparada aos termos específicos relacionados a fogo e identificada. Dessa forma, ela será separada em um novo conjunto de dados, que terá dados mais precisos e que será armazenado para análises posteriores. Como incêndio está relacionado somente a fogo, as demais comparações feitas no algoritmo não terão novos resultados, porém já existe algo para a criação da situação. Esta operação será feita com todas as palavras encontradas no JSON e relacionadas a seus respectivos termos gerais, como mostrado na fig. 20.

Após essa fase, a fusão vai para a sua fase final, para a fusão de situações semelhantes e a projeção da mesma num futuro próximo, auxiliando na obtenção de consciência situacional e na tomada de decisão dos operadores.

Fase 3 - A Fusão de Informações e Projeção do Futuro

Depois de concluir a operação acima, será criado um conjunto de dados mais precisos sobre aquele comunicado. Dessa forma, há uma nova análise para a comparação com outros avisos que já foram analisados anteriormente. Caso não existam informações anteriores, o atual será gravado no banco de dados para futura consulta. Se já existirem dados sobre outros alertas, estes serão comparados com o atual, tentando encontrar uma relação da data do alerta e o local que o mesmo acontece, a fim de estabelecer uma conexão entre os mesmos. Se a comparação de local for positiva, o próximo passo da fusão acontece, somando as

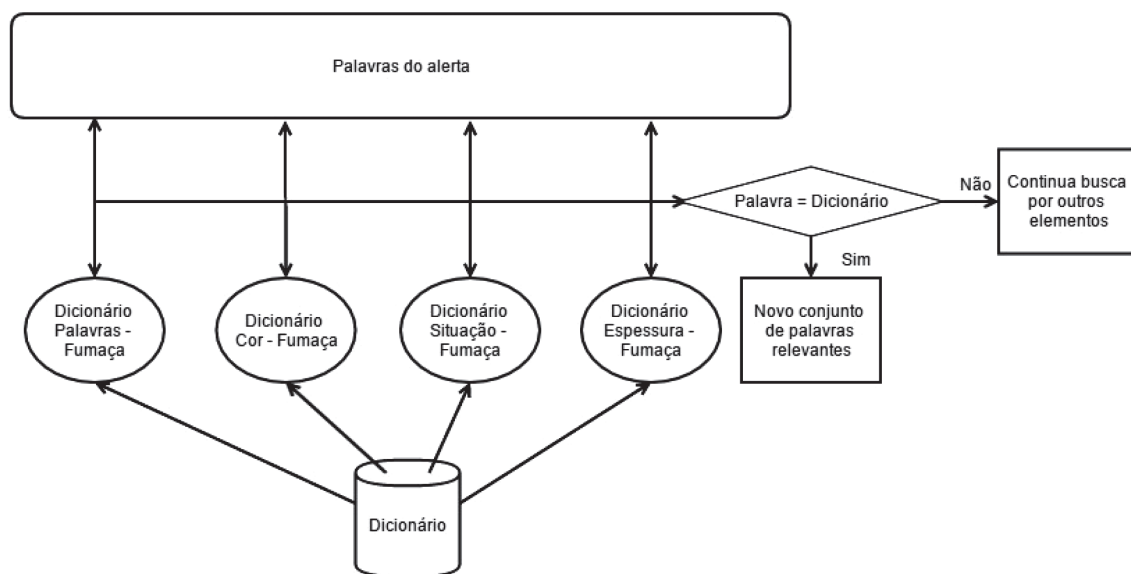


Fig. 19 - Fluxo do algoritmo - Encontrando palavras relevantes à fumaça.

Fig. 19 - Algorithm Flow - Finding words relevant to smoke.

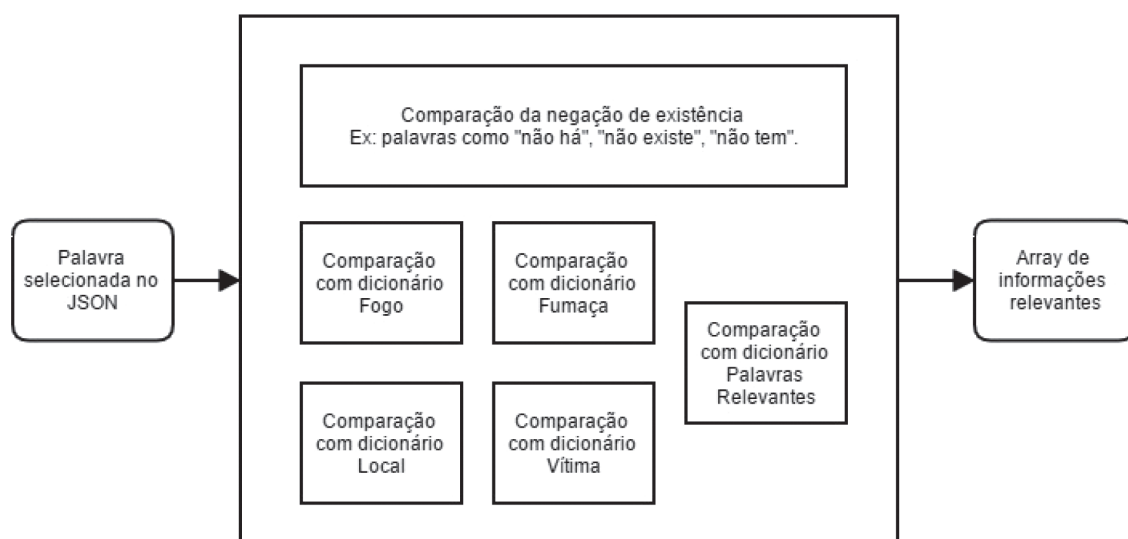


Fig. 20 - Processo de identificação da situação.

Fig. 20 - Situation identification process.

informações de ambos os alertas, gerando uma situação mais precisa e eficaz para a tomada de decisão dos operadores humanos. A fig. 21 mostra o fluxo desta fase do processo.

O procedimento acima foi feito com os JSONs criados pela biblioteca Cogroo, tendo como origem o texto de três alertas de incêndio que contendo informações relevantes sobre uma ocorrência, como a existência de fogo, a direção em que o mesmo ocorre, referências e local. Após a criação do JSON da biblioteca gramatical Cogroo de acordo com o texto enviado e a preparação dos dados de um alerta, temos a seguinte estrutura.

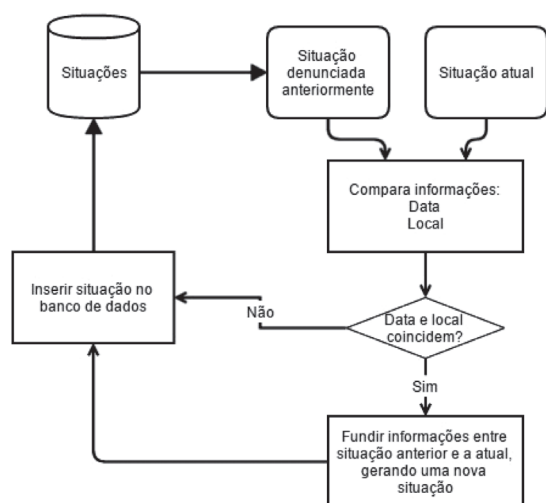


Fig. 21 - Fusão de situações.

Fig. 21 - Merging situations.

Como é visto na fig. 22, palavras relevantes foram categorizadas para a existência de fogo, fumaça, vítimas, informações sobre a localização do incêndio florestal e palavras relevantes ao contexto. Cada um trazia uma informação específica com características de fogo, fumaça e a consciência de que existe uma vítima, fazendo com que a fusão dos três criasse uma situação final mais precisa.

Após a criação da situação final com a fusão de dados - que também foi inserida ao banco, utilizamos uma API para obter dados meteorológicos para criar ao menos uma hipótese do que acontecerá futuramente em dada situação. A API utilizada foi a do site <https://www.wunderground.com/>. Os dados meteorológicos mais importantes para este domínio, segundo integrantes do Corpo de Bombeiros, são:

- a) Temperatura (graus Celsius);
- b) Direção do vento;
- c) Velocidade do vento (quilômetros por hora);
- d) Umidade relativa do ar (porcentagem);
- e) Ponto de orvalho (graus Célsius).

A justificativa da importância desses dados foi confirmada por um integrante do Corpo de Bombeiros, chefe da Brigada de Incêndio, identificando que os dados definidos acima são os que mais impactam na propagação do fogo. A aprovação de todos os integrantes será feita posteriormente. Análises científicas de longo prazo sobre o comportamento do fogo no Cerrado corroboram essa avaliação prática (IBAMA, 2010).

Com a obtenção dos dados meteorológicos, é verificado na situação resultante da fusão se existe fogo ou

```

"denuncia": {
  "horaInicio": "09:11:21",
  "horaFim": "09:11:21",
  "dataAlerta": "25-11-2016",
  "alertaTranscrito": "o fogo está na direção da rua 00 no lago oeste mas para dentro do parque nacional"
},
"fogo": {
  "palavraRef": [
    "fogo"
  ]
},
"fumaca": {
  "cor": [],
  "espessura": [],
  "situacao": []
},
"vitima": [],
"local": {
  "0": "lago oeste",
  "referencia": "parque nacional",
  "direcao": "rua 00"
},
"outros": []

```

Fig. 22 - Exemplo da estrutura de dados provenientes de alerta.

Fig. 22 - Example of data structure sourced from warning.

fumaça. Caso positivo, será criada uma tabela de dados meteorológicos e um resultado do que poderá acontecer se mantidas essas condições, conforme ponderação a ser posteriormente instituída por corpo de especialistas.

Incêndios Florestais, incompletude de dados no DF e o sistema de alerta

A situação de um incêndio florestal, em 2016, atingindo o entorno do conjunto Mangueiral, pertencente a São Sebastião, planejado e recentemente inaugurado, às margens da DF001 e a leste da área de estudo, é uma clara demonstração das possibilidades de incremento desses quadros de risco no DF (Metrópoles, 2016; fig. 3). Está em questão a deflagração de incêndios nas áreas de matas nativas e a necessária revisão da configuração dos espaços de transição na ocupação territorial de contato entre zonas urbanas e Cerrado. Considerando-se a multiplicidade e a convergência de fatores para a intensificação de ocorrências críticas, não se coloca isoladamente a prerrogativa do ordenamento territorial na redução de riscos, mas a pertinência de avaliação continuada das condições de vulnerabilidades locais, da crítica às diretrizes e às práticas de gestão urbana, que dependem de dados e informações estruturadas disponíveis (S. Cutter, 2011).

A incompletude de dados estruturados tem efeitos práticos na gestão de situações críticas. A imagem de área afetada por incêndio florestal na EEJBB, no ano de 2011, que pertence ao acervo histórico da unidade, pode traduzir como registro imagético a intensidade do fogo e parte de suas características. O registro, datado de 15 de setembro de 2011, permite indicar que ocorreu incêndio de copa, mas não temos a especificação de sua localização, dado relevante para a análise dos efeitos

futuros sobre a paisagem e para o planejamento de ações. Algo que a notificação do sistema de alerta pode introduzir nas práticas de monitoramento local (fig. 23).

O comportamento do fogo em queimadas do Cerrado depende do tipo de fitofisionomia e da carga de combustível, associada à periodicidade de queima, além dos fatores climáticos já tratados. O reconhecimento paisagístico dos remanescentes de Cerrado e de sua diversidade é um componente relevante para a preservação das áreas representativas do bioma em situação urbana. A interlocução com a sociedade, associada aos dispositivos tecnológicos do projeto, pode introduzir novos parâmetros e práticas de observação dos efeitos do fogo sobre essas paisagens, considerando o médio e o longo prazo. A relevância do sistema de alerta, como base estruturada de dados, que permitirá ampliar o conhecimento das dinâmicas dos incêndios florestais no DF, pode ser apreendida no histórico das ocorrências. Os dois maiores incêndios registrados sobre a EEJBB têm intervalo de seis anos, 2005-2011, sobre os quais não temos outros registros, exceto os dados da base de queimadas do INPE.

Conclusão

O problema da recorrência de incêndios florestais no DF, atingindo áreas protegidas de Cerrado, deixa em aberto o quadro de dificuldades da gestão local quanto às zonas territoriais de contato entre o urbano e o Cerrado. O alcance dos serviços nacionais e seus propósitos de disponibilidade ou armazenamento de dados, embora úteis para a construção de análises indicativas das recorrências, não se integram a bases locais com a mensuração e descrição dos incêndios florestais e seus contextos espaciais, de forma a repercutir em políticas de ordenamento territorial. E quando esse propósito existe, como no caso do PREVFOGO



Fig. 23 - Área queimada da Estação Ecológica - 15/09/2011.

Fig. 23 - Burned area from Ecologic Station - 15/09/2011.

do Ministério do Meio Ambiente, o repertório de séries de dados é restrito, tendo em conta as razões já explicitadas de baixa disponibilidade de recursos humanos para a coleta, sistematização e análise de dados associados às ocorrências no DF.

A valorização das instâncias locais, em acordos de âmbito internacional, para a prevenção de situações de desastres está sendo enfatizada. O Marco de Sendai, de 2015, do qual o Brasil é signatário, traduz esse enfoque (UN, 2015). Da perspectiva das condições anteriormente relatadas e considerando a insuficiência dos serviços nacionais e locais de informação, a investigação até aqui realizada visa integrar estratégias de prevenção à participação da sociedade local.

Os dados públicos disponíveis para observação do quadro dos incêndios florestais no DF foram explorados quantitativa e temporalmente para corroborar a análise da recorrência no contexto de contato urbano e áreas protegidas de Cerrado, mas também para instruir propósitos relacionados à estruturação e utilização do sistema de alerta e sua potencial incorporação à gestão local. Nesse sentido, reconhece-se o caráter de complementaridade do projeto em relação aos serviços disponíveis, com envolvimento colaborativo da sociedade local na produção de dados via aplicativos móveis, de um lado, e, de outro, no âmbito da informação e do conhecimento sobre incêndios florestais, introduzir um meio inteligente de comunicação e de gestão de situações críticas, em Brasília, DF, mas com possibilidade de adequação a outros contextos.

Instituições participantes do DF100Fogo

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT; Universidade Federal de São Carlos- UFSCar; Jardim Botânico de Brasília - JBB e Centro Universitário Eurípedes de Marília - UNIVEM.

Referências Bibliográficas

- Ab'sáber, A. (2003). *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*, Ateliê Editorial, São Paulo.
- Correa, S. de C. (2007). *A influência de sistemas climáticos sobre os incêndios florestais - estudo de caso: evento de incêndio ocorrido em setembro de 2005 no Jardim Botânico de Brasília* (Master dissertation). Universidade de Brasília, Brasília, 70 p.
- Cutter, S. L. (2011). A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. Ferreira, Victor (tradutor). *Revista Crítica de Ciências Sociais* [online], n° 93, Coimbra, 59-69.
- DISTRITO FEDERAL. JARDIM BOTÂNICO DE BRASÍLIA (2011). *Relatório de atividades de 2011*, JBB, Brasília. Disponível: <http://www.jardimbotanico.df.gov.br> [26/04/2017]
- DISTRITO FEDERAL. JARDIM BOTÂNICO DE BRASÍLIA (2010). *Resumo Executivo do Plano de manejo*. [En línea], JBB, Brasília. Disponível: <http://www.jardimbotanico.df.gov.br> [07 de março de 2014].

- DISTRITO FEDERAL. Decreto nº 17.431, de 11 de junho de 1996. Institui o Plano de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais do Distrito Federal. DODF, de 12 de junho de 1996. Disponível: http://www.sinj.df.gov.br/SINJ/BaixarArquivoNorma.aspx?id_norma=30044 [08 - 11 - 2016]
- DISTRITO FEDERAL (Brasil). Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (2016 a). Gerência de Emergências e Riscos Ambientais. *Relatório de área queimada nos parques e unidades de conservação do Distrito Federal no ano de 2015*. IBRAM, Brasília, DF. 144 p.
- DISTRITO FEDERAL (Brasil) (2016 b). Decreto n.º 37.549, de 15 de agosto de 2016. Institui o Sistema Distrital de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. DODF. Seção I, 2, de 16 de agosto de 2016.
- DISTRITO FEDERAL (2015). *Mapa de Risco ecológico de perda de áreas remanescentes do Cerrado Nativo*. ZEE. MAPA 8, ANEXO I. Disponível: http://www.zee.df.gov.br/images/Mapas%20de%20risco/4-%20risco_cerrado_2015.jpg [04 - 11-16]
- Eiten, G. (1977). Delimitação do conceito de cerrado. *Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro*. Vol. XX1, Rio de Janeiro, 125-134.
- Haklay, M. (2013). Citizen Science and Policy: A European Perspective. *Case studies*. Vol 4. Washington, DC. Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2015. Disponível: https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Citizen_Science_Policy_European_Perspective_Haklay.pdf [11 -11- 2015].
- IBAMA (2010). Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades do Cerrado: projeto fogo. Heloisa Sinátora Miranda (org). Ibama, Brasília. 144 p. Disponível: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/efeitosdoregimedefogodigital.pdf> [05-05-17].
- IBAMA. Prevfogo. Disponível: <http://siscom.ibama.gov.br/sisfogo/publico.php> [11- 04-16].
- INMET (s.d). *Normais climatológicas - 1961 - 1990* (versão digital, revista e ampliada), INMET, Brasília. Disponível: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas> [25-04-17]
- INPE (2017). Programa Queimadas. Disponível: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas> [02-05-17].
- INPE (2016). Programa Queimadas. Disponível: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas> [17-02-16].
- Kobiyama, M. (2006). *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*, Editora Organic Trading, Curitiba, 109 p. Disponível: <http://aguassubterrneas.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/28/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos.pdf> [23-11-2016].
- Medeiros, M. B. de Miranda, H. S. (2005). Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. *Acta Botânica Brasileira*, nº 19(3), 493-500. Disponível: www.scielo.br/pdf/abb/v19n3/27363.pdf [24-08-16].
- METRÓPOLES (2016). Bombeiros combatem incêndios no DF (2016- 07- 24), *Metrópoles*, [eletrônico]. Disponível: www.metropoles.com, Distrito Federal. [27-01-2017].
- Pascoalino, A., Almeida, L. Q. de. (2014). Desastres naturais e gestão de risco no Brasil: características e contributos para o ordenamento territorial. *Multidimensão e Territórios de Risco*. Imprensa da Universidade de Coimbra; RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Coimbra. Disponível: <https://digitalis.uc.pt/pt-pt/node/106201?hdl=34933> [10-11-2016].
- Pereira Junior, A. da C. (2003). *Métodos de geoprocessamento na avaliação sustentabilidade do Cerrado ao fogo* (Doctoral dissertation). UFSCar, São Carlos, 97 p.
- Silva, D. M., Loiola, P. D. P., Rosatti, N. B., Silva, I. A., Cianciaruso, M. V., & Batalha, M. A. (2011). Os efeitos dos Regimes de Fogo sobre a Vegetação de Cerrado no Parque nacional das Emas, GO: Considerações para a Conservação da Diversidade. *Biodiversidade Brasileira*, vol.1/nº2, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 26-39.
- SEDHAB. Mapa Índice - Articulação SICAD, Escala 1:10.000 e 1:2.000. http://www.sedhab.df.gov.br/mapas_sicad/index2.htm [En línea]. SEDHAB, Brasília, [10-11-2014].
- Sieber, R. E., Haklay, M. (2015). *The epistemology(s) of volunteered geographic information: a critique*. *Geo - geography and environment*, vol. 2, 122-136. DOI: <https://doi.org/10.1002/geo2.10> [17-04 -2017]
- Tavares, M. de F. D., Nakagomi, B. (2016). Brasília: utopia urbana e a desconstrução da paisagem idealizada. *Actas do XIV Coloquio Interanacional de Geocrítica*.
- UFSC. CEPED. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais - 1991 - 2012*. Vol. Goiás e DF. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013. (2ª edição revisada). Disponível: <https://s2id.integração.gov.br> [16-11- 2016].
- UNITED NATIONS (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Disponível: http://www.unisdr.org/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf [14-11-16].
- Walter, B. M. T. (2006). *Fitofisionomias do bioma cerrado: síntese terminológica e relações florísticas* (Tese). UnB, Brasília.



RISCOS



O IMPACTO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NA GEODIVERSIDADE DA SERRA DO LENHEIRO - SÃO JOÃO DEL-REI/MG - BRASIL*

THE IMPACT OF FOREST FIRES ON GEODIVERSITY OF SERRA DO LENHEIRO - SÃO JOÃO DEL-REI/MG - BRAZIL

87

Arlon Cândido Ferreira

Universidade Federal Fluminense (Brasil)

ORCID 0000-0003-0075-7989 arloncf@gmail.com

Leonardo Cristian Rocha

Universidade Federal de São João del-Rei (Brasil)

ORCID 0000-0003-0948-0728 rochageo@ufsj.edu.br

Múcio do Amaral Figueiredo

Universidade Federal de São João del-Rei (Brasil)

ORCID 0000-0003-2682-2021 muciofigueiredo@ufsj.edu.br

Francielle da Silva Cardozo

Universidade Federal de São João del-Rei (Brasil)

ORCID 0000-0002-4775-4649 franciellecardozo@ufsj.edu.br

Ivair Gomes

Universidade Federal de São João del-Rei (Brasil)

ORCID 0000-0002-5897-5084 ivair@ufsj.edu.br

RESUMO

Os incêndios florestais afetam diretamente o ecossistema e podem trazer severos danos aos ambientes, nomeadamente a perda irreparável de elementos bióticos e abióticos. Apesar dos elementos abióticos terem um aspecto robusto, de resistência e durabilidade, os mesmos são frágeis e se encontram constantemente ameaçados, sendo os incêndios florestais uma dessas ameaças. A Serra do Lenheiro apresenta uma grande diversidade abiótica, com um patrimônio geológico relevante, tais como afloramentos estromatolíticos, rochas siliciclásticas proteloicas, relevos ruiformes, além de pinturas rupestres e nascentes. Essa região é afetada frequentemente por incêndios florestais, os quais colocam toda essa geodiversidade em risco.

Palavras-chave: Incêndios florestais, geodiversidade, Serra do Lenheiro.

ABSTRACT

Forest fires directly affect the ecosystem and can cause severe damage to environments and the irrecoverable loss of biotic and abiotic elements. Although the abiotic elements appear robust, they are fragile and constantly under threat, and forest fires are one of these threats. Serra do Lenheiro has great abiotic diversity with a significant geological heritage, such as stromatolite outcrops, proterozoic siliclastic rocks, ruiniform relief, as well as cave paintings and springs. This region is often affected by forest fires, which puts all this geodiversity at risk.

Keywords: Forest fires, geodiversity, Serra do Lenheiro.

* O texto deste artigo foi submetido em 30-12-2017, sujeito a revisão por pares a 07-02-2018 e aceite para publicação em 10-11-2018.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 26 (I), 2019, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

Nas últimas décadas, os impactos ambientais relacionados com a ocorrência de incêndios florestais tem gerado uma ampla e importante discussão. O uso do fogo não é recente, sendo detectado no Holoceno, entre 7.000 a 4.000 A.P (antes do presente) (Oliveira *et al.* 2005). Os incêndios florestais continuam sendo um dos principais problemas ambientais da atualidade (Coura, Sousa e Fernandes, 2009; Pereira *et al.* 2012; Soares, 2016).

Apesar dos incêndios florestais serem fundamentais para dinâmica natural de alguns ecossistemas, o impacto gerado por eles é preocupante, visto que envolvem várias consequências, tais como: perda de fertilidade dos solos, mortalidade de animais, problemas de saúde, produção de gases e impactos negativos no clima, causam o comprometimento da biodiversidade e geodiversidade, além de gerar prejuízos financeiros e materiais (Oliveira, 2006; Pereira, Ferreira, Moraes, Cardozo e Freitas, 2009). No Brasil, acredita-se que mais de 95 % dos incêndios florestais sejam causados pela ação descuidada ou intencional do homem, sendo os mesmos punidos com base na Lei de Crimes Ambientais (Lei n. 9.605).

Embora as estruturas geológicas apresentem um aparente aspecto robusto, de resistência e durabilidade, esses aspectos não revelam a sua fragilidade. Todavia, não existem grandes diferenças quando comparadas a elementos da biodiversidade. Esta percepção advém, provavelmente, do fato de a Conservação da Natureza tradicionalmente contemplar aspectos biológicos como frágeis e vulneráveis, enquanto que o mundo abiótico (geodiversidade) é visto como estável, estático e livre de perigos.

A geodiversidade, assim como a biodiversidade, encontram-se ameaçadas em diversas escalas e graus distintos, e a causa do seu estado de degradação está diretamente relacionada com a subsistência da espécie humana. Atualmente, podem ser enumeradas diversas ameaças que afetam a geodiversidade, das quais se destacam: exploração mineral/materiais de construção, atividades militares, expansão das áreas urbanas e agrícolas, atividades turísticas e os incêndios florestais, esta última afetando a geodiversidade desde a escala micro à escala macro (Brilha, 2005; Nascimento, Ruchkys & Mantesso-Neto, 2008; Ferreira, 2017).

Dentre essas áreas com grande geodiversidade, e que sofrem com incêndios florestais constantemente, pondo em risco toda a geodiversidade local, destaca-se a Serra do Lenheiro, no município de São João del-Rei, na parte sudeste do Estado de Minas Gerais - Região Sudeste do Brasil. A Serra do Lenheiro é formada por um anticlinal falhado, caracterizado por várias falhas de empurrão vergente para o Norte, apresentando diferentes rochas siliciclásticas de idade Proterozoica.

A partir desse cenário, o objetivo do trabalho foi identificar os lugares de interesse geoconservacionistas da Serra do Lenheiro, bem como mapear as ocorrências de incêndios florestais no período de 2010 a 2017, exemplificando como os incêndios florestais colocam em risco toda essa geodiversidade. A escolha desta área está determinada pela significativa geodiversidade, a qual comporta afloramentos de estromatólitos, pinturas rupestres, nascentes, relevos ruiformes formados pela ação intempérica, dissoluções geoquímicas entre outros elementos de natureza abiótica.

Área de Estudo

Localizado na Mesorregião do Campo das Vertentes, o município de São João del-Rei se destaca como uma das principais cidades históricas de Minas Gerais, declarada Patrimônio Histórico e Artístico Nacional em 1938 (Brasil, 2010). A Serra do Lenheiro localiza-se aproximadamente a 5 km do sítio urbano, nos limites norte e noroeste da Sede Municipal (fig. 1).

A Serra do Lenheiro foi cenário importante na conquista e povoamento de Minas Gerais, pois por ela passava o antigo Caminho Geral do Sertão, posteriormente conhecido por Estrada Real (Caminho Velho). Nesse caminho transitou o Bandeirante Fernão Dias e a sua histórica “Bandeira das Esmeraldas” (Tavares, 2011), além de Borba Gato, Matias Cardoso e Tomé Portes del-Rei, fundador do município de São João del-Rei. Segundo Maldos (2003), o primeiro núcleo povoador da cidade se estabeleceu em suas escarpas, servindo de fonte de matéria-prima para a construção das edificações. A Serra do Lenheiro, juntamente com o Sul do Quadrilátero

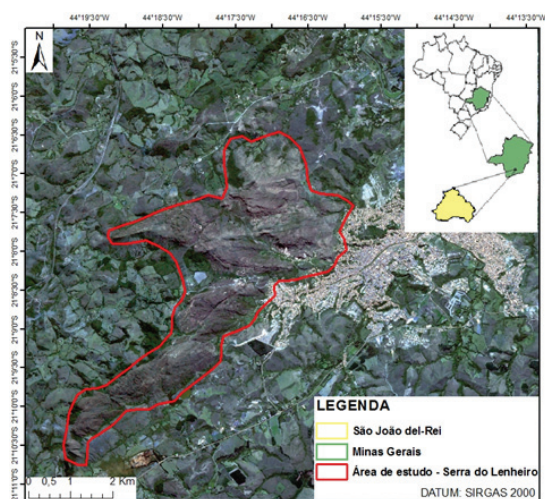


Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo: Serra do Lenheiro.

Fig. 1 - Map showing the study area: Serra do Lenheiro.

Ferrífero (Ouro Preto) e parte da Serra do Espinhaço (Região de Diamantina) foram importantes provinciais minerais de Minas Gerais no Ciclo do Ouro, no período colonial. Ao longo do tempo a Serra do Lenheiro passou por diferentes processos de uso e ocupação, sendo atualmente uma Unidade de Conservação e parte integrante de uma área militar.

A região abriga representantes fitofisionômicos de dois domínios fitogeográficos importantes e considerados *Hotspots* mundiais, Domínio Atlântico, conhecida popularmente como Bioma Mata Atlântica, e Domínio Cerrado. Essa coexistência possibilita a ocorrência de diversos tipos de vegetação, como fisionomias florestais, savânicas e campestres, além de uma composição e ecologia de fauna relevante (Vasconcelos, 2011).

A rede de drenagem da região é controlada pelo amplo sistema de fraturamentos e falhas, desenvolvido, sobretudo, em rochas quartzíticas, fazendo com que os cursos d'água sejam alinhados segundo suas direções preferenciais. Na região destacam-se dois importantes cursos, o Córrego do Lenheiro e o Ribeirão São Francisco Xavier, além de cachoeiras e outros cursos d'água de menor grandeza.

Os solos da região são compostos basicamente por Latossolos e Cambissolos. Em levantamento realizado em escala de detalhe, foram identificados e descritos Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos, Gleissolos e Sedimentos Aluviais (Scudeller *et al.* 2010; Ferreira *et al.* 2014).

A Serra do Lenheiro sempre recebeu destaque na literatura geológica brasileira, em função do interesse econômico. A primeira citação referente à Serra do Lenheiro remonta a Eschewege, quando o mesmo a descreveu em seu livro *Pluto Brasilienses* (1833, p. 441), relatando sobre a sua importância na questão aurífera. O mapa geológico mais recente que inclui a área de estudo é de caráter regional, realizado pelo projeto Sul de Minas - Etapa I (Ribeiro *et al.*, 2002).

Tomando por base esse mapa, Ribeiro (1997) e Ribeiro *et al.* (2013) propuseram a coluna estratigráfica apresentada na fig. 2, mostrando o empilhamento das sequências deposicionais da região de São João del-Rei e a formação da Serra do Lenheiro.

A coluna estratigráfica é formada por um embasamento Arqueano Paleoproterozoico e por sucessões metassedimentares Proterozóicas. Este inclui faixas *greenstone*, que são formados por rochas metassedimentares (filitos cinzentos, clorita, quartzitos e filitos), metaígneas máficas (metabasaltos e anfibolitos) e ultramáficas (periodotito e komatitito). Marcada por uma discordância litológica e sobreposta ao embasamento, a megassequência São João del-Rei é subdividida cronologicamente da mais antiga para a mais nova, sendo elas:

A sequência Tiradentes, que é marcada por depósitos de quartzitos em ambientes *shoreface* e *foreshore*, e apresenta uma desconformidade que favoreceu a deposição da sequência São José, apresenta as condições anteriores.

Após a deposição da sequência São José, ocorreu uma nova desconformidade, que dá início à formação Tejuco. Ambas se diferenciam pelo fato de a última, além de registrar a presença de quartzitos, evidencia ainda a deposição de lamitos.

Durante a deposição da sequência Tejuco ocorre a mudança do ambiente deposicional. Com a formação de lagunas e a deposição de filito, inicia-se um processo de regressão marinha que dá início à sequência Lenheiro (Ribeiro *et al.* 2002).

Na sequência Lenheiro há uma sobreposição de quartzitos conglomeráticos sobre os quartzitos finos, indicando um ambiente *delta front*. Com a deposição no ambiente deltaico, ocorreu uma nova discordância angular, inclusive com a formação de diamictitos.

Esse novo evento é caracterizado pelo processo de transgressão marinha (Ribeiro *et al.* 2002), que é marcado pela deposição da plataforma carbonática (calcário) das sequências Barroso e Prados. Em seguida, ocorre a deposição de filitos cinzas e biotita xisto da sequência Andrelândia. Completando essa coluna estratigráfica, ocorre o processo de depósitos aluviais Cenozóicos.

Cabe ressaltar que as sequências Barroso, Prados e Andrelândia não possuem ocorrências na área de estudo. Todas as sequências acima são seccionadas por diques de diabásio, se destacando os diques metamáficos na Sequência São João del-Rei.

Metodologia

Os procedimentos metodológicos neste trabalho envolvem, inicialmente, um levantamento bibliográfico e documental referente ao contexto e área de estudo.

Por se constituir numa área integrante do Campo Escola de Montanhismo e Parque Ecológico Municipal da Serra do Lenheiro, foram solicitadas autorizações ao Exército Brasileiro (11º Batalhão de Infantaria de Montanha "Regimento Tiradentes") e à Prefeitura Municipal de São João del-Rei, ambos responsáveis pela área em apreço.

O levantamento da geodiversidade foi realizado por meio do preenchimento do formulário para descrição dos lugares de interesses geoconservacionistas constituído por 9 (nove) blocos principais de informação, sendo eles: identificação, localização, acessibilidade, caracterização, estado de conservação, valores para a geodiversidade, descrição dos aspectos naturais, justificativa para a sua geoconservação e registros fotográficos. Esse formulário foi adaptado dos trabalhos de inventariação e descrição de Magro (1999);

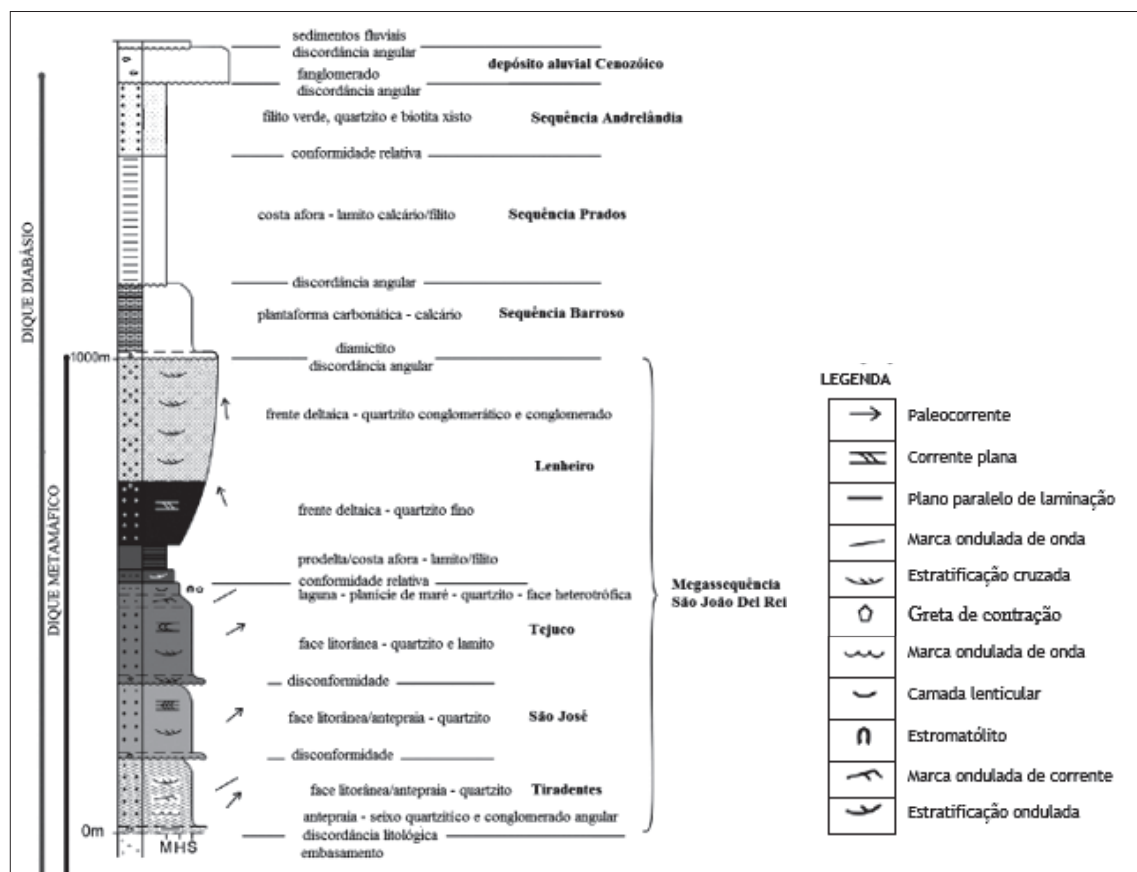


Fig. 2 - Coluna estratigráfica simplificada mostrando o empilhamento das sequências deposicionais na região de São João del-Rei.

Fig. 2 - Simplified stratigraphic column showing the depositional stacking patterns in the region of São João del-Rei.

Barros (2003); Brilha (2005); Arana-Castillo (2007); Carcavilla, López-Martínez e Valsero (2007); Letenski, Guimarães, Pierkarz e Melo (2009); Patalão (2011) e Ostanello (2012).

Para o georreferenciamento dos pontos de interesse geoconservacionista foi utilizado um Tablet da marca Sony com GPS, sendo utilizado o software QGis 2.8 Wien, sobre uma imagem orbital do satélite *RapidEye*.

O *RapidEye* é um sistema composto por cinco satélites de sensoriamento remoto idênticos e em mesma órbita. A faixa de abrangência de coleta de imagens é de 77 km de largura e 1500 km de extensão (Antunes & Siqueira, 2013; Rapideye, 2017). Suas imagens foram utilizadas nesse trabalho pelo fato de possuírem a melhor resolução de imagens disponibilizadas de forma gratuita. A TABELA I mostra as características do satélite e do sensor.

TABELA I - Características técnicas dos satélites *RapidEye*.

TABLE I - Technical characteristics of *RapidEye* satellites.

Características	Informações
Número de satélites	5
Órbita	Heliosíncrona com 630 km de altitude
Passagem pelo Equador	+/- 11:00 h em hora local
Tipo de sensor	Imageador multiespectral push broom
Bandas espectrais	Bleu, Green, Red, Red-Edge, Infravermelho Próximo
Espaçamento de pixel	6,5m no nadir
Tamanho do pixel (ortorretificada)	5,0m
Tamanho da imagem	Aproximadamente 77 km de largura com comprimento entre 50 e 300 km, 462 Mbytes/23 km ao longo da órbita para 5 bandas
Datum horizontal	WGS 84
Bits de quantização	12 bits

Fonte: Adaptado de Antunes e Siqueira (2013); RapidEye (2017). Source: Adapted from Antunes e Siqueira (2013); RapidEye (2017).

Para comparação, validação e segurança na coleta dos pontos e dados, utilizou-se um receptor GPS Garmin Trilha *Etrex Venture* com projeção conforme, bidimensional e cartesiana, denominada Universal Transversa de Mercator (UTM) e Datum WGS 1984.

Para o mapeamento dos incêndios florestais, foram utilizadas imagens dos satélites *LANDSAT 5* com dados entimados pelo sensor *Thematic Mapper (TM)* e *LANDSAT 8 Operational Land Imagem (OLI)*. Suas atividades iniciaram em 1984 e 2013, sendo ambos desenvolvidos pela *NASA (National Aeronautics and Space Administration)* e *USGS (Geological Survey)* (USGS, 2016).

O Sensor *Thematic Mapper (TM)* é composto por bandas adicionais em infravermelho e espectro eletromagnético, tendo uma resolução espacial de 30 metros, resolução temporal de 16 dias e resolução radiométrica de 8 bits. O sensor *Operational Land Imager (OLI)*, produto do satélite *Landsat 8*, gera suas imagens com resolução espacial de 30 metros, 9 bandas e 8 ondas espectrais com 12 bits de resolução radiométrica. Para o tratamento das imagens optou-se pela utilização do método de Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Esta técnica permite que os contrastes das respostas espectrais dos alvos, que consistem em um modelo de reflectância (resposta espectral), sendo ideal para classificar áreas de pastagens, afloramentos rochosos, reflorestamentos, corpos d'água, florestas naturais, áreas urbanas e incêndios florestais (Silva, 2017; Resende, 2017).

O processamento das imagens ocorreu com utilização do *software* de licença gratuita *SPRING 5.1.8*, permitindo a segmentação e classificação das imagens. O tratamento das imagens se deu a partir do processo de similaridade de resposta espectral, por parâmetros de agrupamento, edição manual e categorização por similaridade dos elementos conforme critérios pré-estabelecidos pelo usuário, para destaque dos polígonos selecionados e classificados em processo de checagem e posteriormente o tratamento final das imagens (Silva *et al.*, 2016). Após a identificação das áreas de ocorrência de incêndios florestais, elas foram sobrepostas à imagem orbital *RapidEye*, juntamente com os pontos de interesse geoconservacionista. Ressalta-se que não foram mapeados os incêndios florestais referentes ao ano de 2017, pelo fato das informações ainda não estarem disponíveis no término desse trabalho.

Resultados e Discussões

As causas das queimadas são de natureza diversa. Podem ocorrer de forma natural, que não precisa da intervenção humana (raios e combustão espontânea) ou por atividades e ações antrópicas (negligência, acidente e intencionalmente).

A Serra do Lenheiro é afetada frequentemente por incêndios florestais, os quais colocam toda a sua geodiversidade em risco. Em levantamento realizado nos últimos 8 anos (2010-2017), através do uso de geoprocessamento e trabalhos de campo, foram identificados e mapeados incêndios florestais que destruíram uma área aproximada de 12,42 km², em uma área de estudo de aproximadamente 38 km² (fig. 3) (TABELA II). Ressalta-se que a ocorrência de incêndios na área de estudo raramente é devido a causas naturais.

TABELA II - Área queimada entre os anos 2010-2017.

TABLE II - Area burned between 2010 and 2017.

Ano	Área queimada (km ²)
2010	1,92
2011	3,49
2012	1,30
2013	0,11
2014	2,62
2015	1,47
2016	1,34
2017	0,17
Total	12,42

Foram identificados e descritos na Serra do Lenheiro 81 lugares de interesse geoconservacionista (fig. 4), os quais representam pontos de interesse geomorfológico, espeleológico, petrológico, sedimentológico, estratigráfico, mineralógico, estrutural, balneário, geocultural, patrimônio da mineração, preservação ambiental, arqueológico e pedológico. Desde total, pelo menos 21 apresentam interferências provenientes de incêndios florestais, causando a sua descaracterização e colocando em risco o patrimônio geológico local. Além dessa descaracterização (fig. 5) (fot. 1 a/b e fot. 2 a/b), os incêndios florestais podem repercutir em maior ou menor grau na geodiversidade. Eles aceleram os processos erosivos nos pontos de interesse pedológico, afetam trilhas, inviabilizando, muitas vezes, o acesso a essa geodiversidade, emitem poluentes nocivos à saúde e colocam em risco vidas humanas, inibem as atividades geoturísticas, afetando a economia local, destroem infraestruturas e causam depreciação cênica das paisagens (fot. 3 a/b).

Apesar desses 21 pontos de interesse geoconservacionistas serem de grande relevância para a Serra do Lenheiro, 3 (três) merecem destaque por sua raridade e por sofrerem constantemente as consequências dos incêndios florestais:

- Os mananciais hídricos existentes na Serra do Lenheiro, importantes tanto para o abastecimento quanto para o lazer da população em geral;

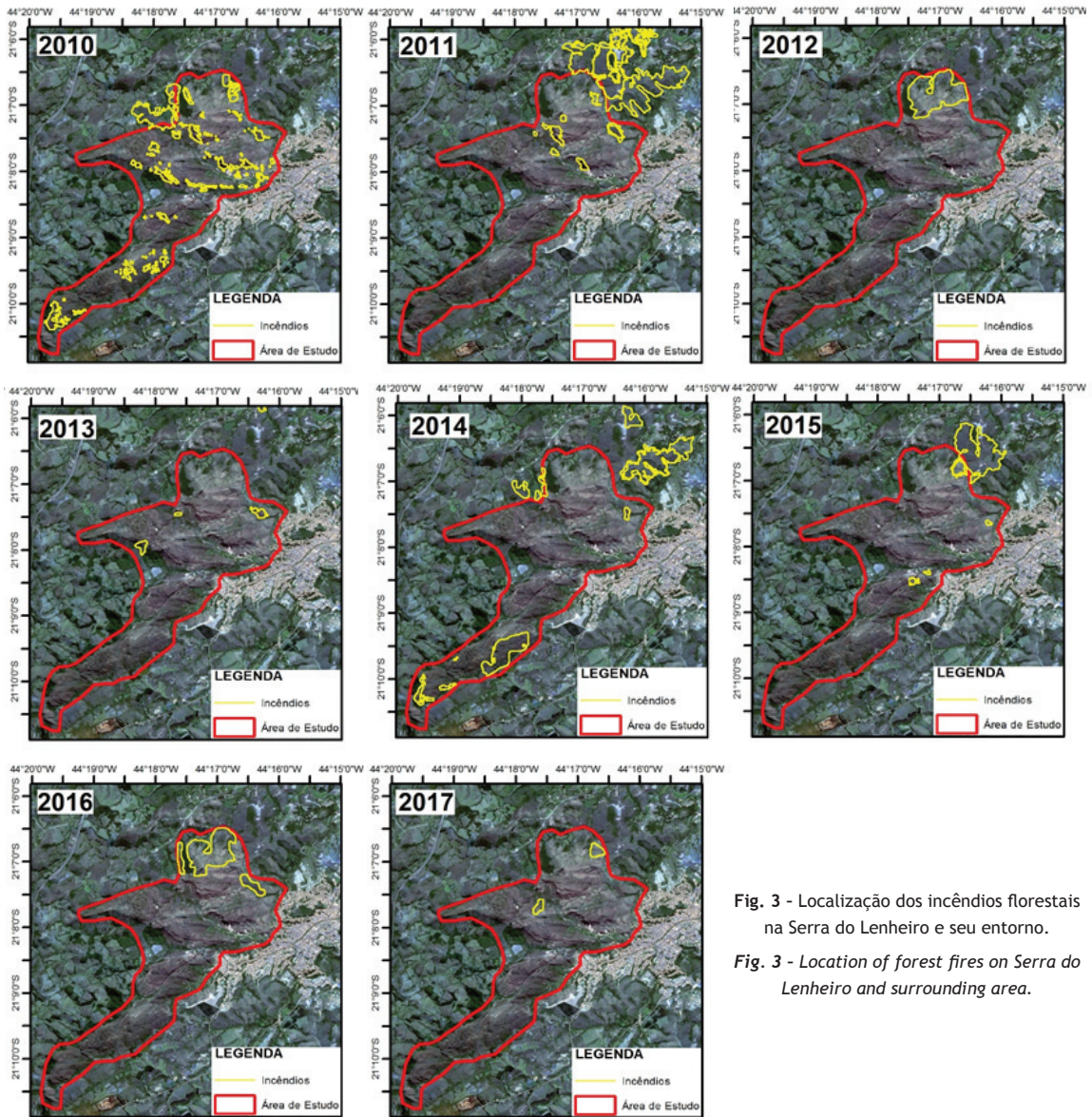


Fig. 3 - Localização dos incêndios florestais na Serra do Lenheiro e seu entorno.

Fig. 3 - Location of forest fires on Serra do Lenheiro and surrounding area.

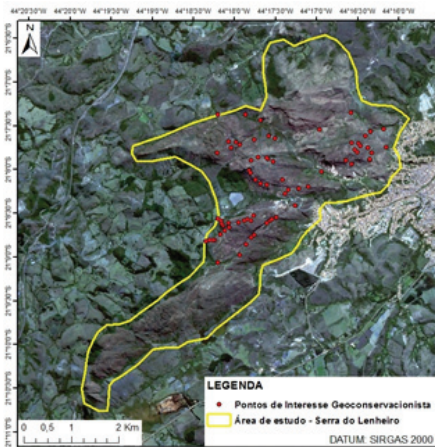


Fig. 4 - Mapa de localização dos Pontos de Interesse Geoconservacionista.

Fig. 4 - Map of geoconservation sites of interest.

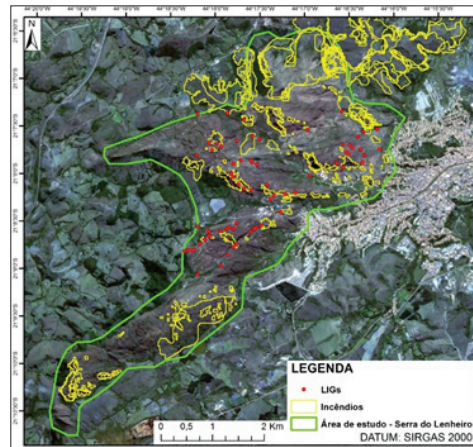
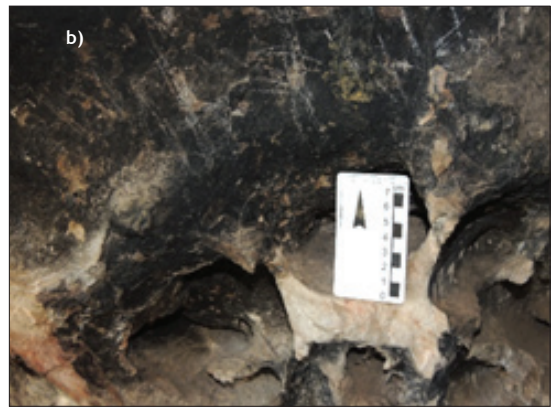
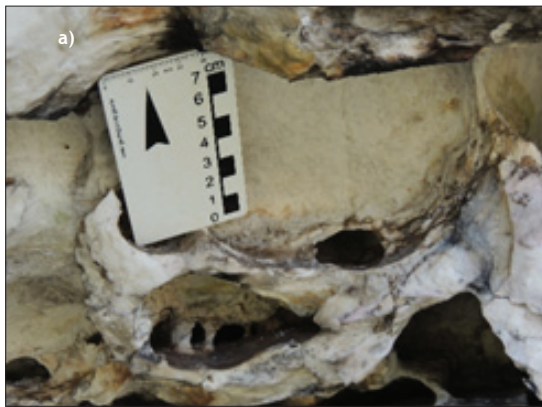


Fig. 5 - Ocorrências de incêndios x Lugares de Interesse Geoconservacionista.

Fig. 5 - Occurrences of fires x sites of geoconservation interest.



Fot. 1 - Dissoluções geoquímicas antes (a) e depois (b) da ocorrência de incêndios florestais (Fotografia de Arlon Cândido Ferreira, a) em 05/02/2015 e b) em 11/09/2015.).

Photo 1 - Geochemical dissolution before (a) and after (b) forest fires (Photography by Arlon Cândido Ferreira, a) in 05/02/2015 e b) in 11/09/2015).



Fot. 2 - Região de relevo ruiniforme antes (a) e depois (b) da ocorrência de incêndios florestais (Fotografia de Arlon Cândido Ferreira, a) em 18/01/2016; b) em 15/06/2016).

Photo 2 - Ruiniform region before (a) and after (b) forest fires (Photography by Arlon Cândido Ferreira, a) in 18/01/2016; b) in 15/06/2016).



Fot. 3 - Trilha descaracterizada por incêndios florestais (a); Depreciação da paisagem da Serra do Lenheiro após incêndios florestais (b) (Fotografia de Edmilson Sales, em 06/08/2014).

Photo 3 - Trail rendered featureless by forest fires (a); Decline of the Serra do Lenheiro landscape after forest fires (b) (Photography by Edmilson Sales at 06/08/2014).

- A presença de estromatólitos (fot. 4), cuja constituição corresponde a estruturas sedimentares litificadas constituídas por microorganismos envolvidos por uma fina camada mucilagionisa, formando um tapete biológico, de idade Pré-Cambriana. Sua importância geológica e paleontológica é significativa, pois sua ocorrência é rara, tanto no território brasileiro quanto mundial;
- A presença de sítios de pinturas rupestres, que são definidos e protegidos no Brasil pela Lei n. 3.924/61, sendo considerados bens patrimoniais da união (fot. 5).

Os incêndios florestais na área de estudo, em sua grande maioria, são de origem antrópica. São provenientes de vestígios de acampamentos não autorizados, da queima de resíduos sólidos dispostos de forma inadequada, do vandalismo causado por motociclistas que os utilizam para “limpar” a vegetação presente nas trilhas e por manifestações religiosas que utilizam velas e/ou outros elementos que produzem calor (fot. 6 a, b e c).

Apesar da Serra do Lenheiro ser parte integrante de uma Unidade de Conservação de Administração Municipal e

do Campo Escola de Montanhismo do Exército Brasileiro, localmente não há uma brigada de combate a incêndios efetiva. O Combate é feito por voluntários organizados em ONGs, sendo a ONG Brigada 1 a maior e mais efetiva no local (fot. 7). Pontualmente esse combate conta com o apoio do Corpo de Bombeiros e Exército Brasileiro. Esses grupos de voluntários ficam de prontidão o ano inteiro, mas tem sua maior atuação no período de tempo mais seco, que vai de junho a outubro (período de baixa precipitação na região).

Considerações Finais

A maioria dos incêndios registrados na área de estudo entre os anos de 2010 e 2017 ocorreram no período do inverno, quando os índices pluviométricos são menores, deixando a região mais vulnerável. A fragilidade frente aos incêndios florestais na região é devida às características de inflamabilidade da vegetação, acrescida das intervenções de natureza humana desenvolvidas tanto no entorno como no interior da Serra



Fot. 4 - Afloramento de estromatólito
(Fotografia de Arlon Cândido Ferreira, em 04/05/2016).

*Photo 4 - Outcrops of stromatolites
(Photography by Arlon Cândido Ferreira at 04/05/2016).*



Fot. 5 - Pinturas rupestres presentes na Serra do Lenheiro
(Fotografia de Arlon Cândido Ferreira, em 28/04/2015).

*Photo 5 - Rock paintings on the Serra do Lenheiro
(Photography by Arlon Cândido Ferreira at 28/04/2015).*



Fot. 6 - Vestígio de queimada em acampamentos irregulares (a); Resíduos sólidos dispostos e queimados de forma irregular (b); Resquício de manifestações religiosas que utilizam velas e outros objetos com fonte de calor (c) (Fotografias de Arlon Cândido Ferreira em 14/04/2015).

Photo 6 - Trace of burning in irregular encampments (a); Randomly discarded and burnt solid waste (b); Remnants of religious processions that use candles and other objects with heat sources (c) (Photography by Arlon Cândido Ferreira, taken at 14/04/2015).



Fot. 7 - Voluntários da Brigada 1 combatendo incêndios florestais na Serra do Lenheiro (Fotografia de Edmilson Sales, em 07/08/2014).

Photo 7 - Volunteers of Brigade 1 fighting forest fires on the Serra do Lenheiro (Photography by Edmilson Sales at 07/08/2014).

do Lenheiro, às quais estão associadas as ignições. O seu combate demonstra a necessidade da regulamentação das brigadas de combate, bem como a adequação e reposição de equipamentos de proteção individual e ferramentas adequadas de combate. Sem deixar de lado, ações e políticas de educação ambiental com os moradores e usuários da área.

Esses incêndios florestais demonstram a vulnerabilidade e a fragilidade da geodiversidade quando exposta a esses impactos, e como podem sofrer perdas, muitas vezes incalculáveis, quando atingida por eles. Vale ressaltar que são necessárias estratégias de geoconservação fundamentadas, aplicadas e utilizadas de forma sustentável, que classifiquem os incêndios florestais como risco a geodiversidade.

Independente das causas e de suas amplitudes, todos os incêndios florestais são perigosos e suas manifestações carecem de sistemas contínuos de mapeamentos, monitoramentos e ações preventivas e educativas, pois geram modificações e impactos que podem afetar e degradar lugares de interesse geoconservacionista.

Agradecimentos

A CAPES pela concessão da bolsa do 1º autor.

Referências

Antunes, M. A. H.; Siqueira, J. C. S. (2013). Características das imagens RapidEye para mapeamento e monitoramento e agrícola e ambiental. *Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 16.

Arana-Vastillo, R. (2007). *El patrimonio geológico de la región de Murcia*. [s.i]: Academia de Ciencias de La Región de La Murcia.

Barros, M. I. A. (2003). *Caracterização da visitação dos visitantes e avaliação dos impactos ecológicos e recreativos do planalto do Parque Nacional do Itatiaia*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.

BRASIL - MINISTÉRIO DO TURISMO (2010). *Destino referência em turismo de estudos e intercâmbio*. Brasília: Editora Nacional.

Brilha, J. B. R. (2005). *Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica*. Braga: Palimage.

Carcavilla, L. U., López-Martínez, J., Valsero, J. J. D. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidad investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

Coura, P. H. F., Sousa, G. M., Fernandes, M. C. (2009). Mapeamento geocológico da susceptibilidade à ocorrência de incêndios no maciço da Pedra Branca, município do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, 32 (2), 14-25.

Eschwege, W. L. (2011). *Pluto Brasiliensis*. Brasília: Senado Federal.

Ferreira, A. B. R., Santos, P. R., Resende, T. F., Almeida, G. P., Andrade, R. B., Maus, J. J., Valéria, V., Rocha, L. C., Figueiredo, M. A., Negreiros, A. B., Ferreira, A. C. (2014). Mapeamento Pedológico da Bacia do Ribeirão São Francisco Xavier - São João del-Rei (MG). *Anais Congresso Brasileiro de Geologia*, Salvador, BA, Brasil, 47.

Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (1998). Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília. 1998.

Letenski, R., Guimarães, G. B., Piekarcz, G. F., Melo, M. S. (2009). Geoturismo no Parque Estadual de Vila Velho: nas trilhas da dissolução. *Turismo e Paisagens Cársticas*, 1 (2), 5-15.

Magro, T. C. (1999). *Impacto do uso público em uma trilha no planalto do Parque Nacional do Itatiaia*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.

Maldos, R. (2000). *A Formação Urbana da Cidade de São João Del-Rei*. Recuperado em 04 de maio de 2016, de <http://saojoaodelreitransparente.com.br/>

Nascimento, M. A. L., Ruchkys, Ú. A., Mantesso-Neto, V. (2008). *Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia.

Oliveira, J. C. (2006). Índice para avaliação de segmentação (IAVAS): uma aplicação em agricultura.

- Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Oliveira, P. E., Behling, H., Ledru, M. P., Barberi, M., Bush, M., Salgado-Laboriau, M. L., Garcia, M. J., Barth, O. M., Barros, M. A., Scheel-Ybert, R. (2005). Paleovegetação e Paleoclimas do Quaternário do Brasil. I: Souza, C. R. G., Suguio, K., Santos, A. M., Oliveira, P. E. (org.). *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 44.
- Ostanello, M. C. P. (2012). *Patrimônio Geológico do Parque Estadual do Itacolomi (Quadrilátero Ferrífero, MG)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.
- Patalão, A. M. S. (2011). *Patrimônio geológico dos concelhos de Miranda do Douro e de Mogadouro*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Minho, Portugal.
- Pereira, A. A., Pereira, J. A. A., Morelli, F., Barros, D. A., Acerbi-Jr, F. W., Scolforo, J. R. S. (2012). Validação dos focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens TM. *Cerne*, 18 (2), 335-343.
- Pereira, G., Ferreira, N. J., Moraes, E. C., Cardozo, F. S., Freitas, S. R. (2009). Análise das áreas queimadas e das emissões dos gases do efeito estufa no Parque Estadual da Serra do Tabuleiro - Santa Catarina. *Geosul*, 24 (47), 113-130.
- Rapideye. (2017). *Satellite Imagery Product Specifications*. Recuperado em 23 de fevereiro de 2017, de <http://www.rapideye.com>
- Resende, F. C. (2017). *Análise da Distribuição Espacial das Áreas Queimadas na Porção Nordeste do Bioma Cerrado*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, MG, Brasil.
- Ribeiro, A. (1997). *Estratigrafia e paleoambientes nas sucessões metassedimentares proterozóicas das serras do Lenheiro e São José, São João del Rei, sul de Minas Geras (Tese de Doutorado)*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Ribeiro, A., Paciullo, F. V. P., Noce, C. M., Valeriano, C. M., Valença, J. G., Ávila, C. A., Trouw, R. A. J., Silva, M. A. (2002). *Carta Geológica - Folha SF.23-X-C-II - São João Del-Rei - Escala 1:100.000 com texto explicativo* (Projeto Sul de Minas - Etapa I. Belo Horizonte), COMIG.
- Ribeiro, A., Teixeira, W., Dussin, I. A., Ávila, C. A., Nascimento, D. (2013). U-Pb LA-ICP-MS detrital zircon ages of the São João del Rei and Carandaí basins: New evidence of intermitente Proterozoic rifting in the São Francisco paleocontinent. *Gondwana Reserarch*, 24 (2), 713-726.
- Silva, A. L. G. (2017). *Descrição dos Principais Sistemas Sensores Orbitais em Operação*. Recuperado em 21 de dezembro de 2017, de <http://www.uff.br/degeografia/index.pnh/home>
- Silva, V. V., Silva, L. R. S., Costa, J. C., Faria, B. C., Pereira, G. (2016, junho). Análise Temporal das Áreas de Expansão de Reflorestamento na Região do Campo das Vertentes - MG. Anais da *Jornada Científica da Geografia*, Alfenas, MG, Brasil, 4.
- Soares, T. B. O. (2014). *Análise e Mapeamento dos Incêndios Florestais de 2010 no Parque Nacional da Serra da Canastra-MG*. Monografia de Especialização, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sudeste de Minas Gerais, Barbacena, MG, Brasil.
- Scudeller, A. A., Resck, B. C., Vasconcelos, B. N., Barbosa, D. S. A., Sousa, D. V., Souza, E., Vieira, E. M., Simas, F. N. B., Moreira, G. F., Giacomini, G., Marotta, G. S., Oliveira, G. C., Corrêa, G. R., Faria, M. M., França, M. M., Portes, R. C., Oliveira, S. A. (2010). *Mapa de Solos de Minas Gerais: legenda expandida* (Fundação Estadual do Meio Ambiente), FEAM/UFV/CETEC/UFLA.
- Tavares, R. R. B. (2011). Serra do Lenheiro em São João Del-Rei como Atrativo Ecoturístico: um estudo de caso. *Revista Eletrônica Saberes Interdisciplinares*, 7 (1), 48-67.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). (2013) *Landsat: A Global Land-Imaging Mission*. Recuperado em 04 de maio de 2017, de <http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3072/fs2012-3072.pdf>
- Vasconcelos, M. F. (2011). O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do leste do Brasil? *Rev. Bras. Bot.*, 34 (2), 241-246.

INCENDIOS FORESTALES EN GALICIA Y PORTUGAL: UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA*

FOREST FIRES IN GALICIA AND PORTUGAL: AN HISTORICAL OVERVIEW

97

Francisco Díaz-Fierros Viqueira

Profesor Emérito de la Universidad de Santiago de Compostela (España)

ORCID 0000-0003-3690-2172 francisco.diaz-fierros@usc.es

RESUMEN

Se realiza un estudio comparativo sobre la incidencia de los incendios forestales en Galicia y Portugal. En una primera parte, se desarrolla una historia común hasta la independencia de Portugal destacando los estudios polínicos y antracológicos realizados en la zona. A continuación se analizan en paralelo, la problemática de los incendios en los dos países señalando para la Edad Moderna la influencia del pastoreo, las rozas, la elaboración del carbón vegetal y la construcción naval. Se describe la influencia de la nueva silvicultura en las técnicas de lucha contra el fuego y se destaca la importancia que tuvo la desestructuración del espacio agrario y el abandono del campo en el origen de la importante ola de incendios de los tiempos actuales. Finalmente se plantea la posibilidad de que se esté asistiendo a la aparición de una nueva generación de incendios motivada, entre otras causas, por el cambio climático.

Palabras clave: Incendios forestales, historia social, cambio climático.

ABSTRACT

This study looks at the impact of forest fires in Galicia and Portugal from a comparative point of view. The first part deals with the common history of both regions until the Independence of Portugal emphasizing the pollen and anthracological analyses. The second part examines the problems of forest fires involving the two countries, focusing on the Modern Age, particularly on the influence of activities such as herding, land clearing, charcoal making, and shipbuilding. The influence of new forestry on the techniques for fighting forest fires is highlighted, especially the impact of the disintegration and depopulation of rural areas as a starting point for the extensive wave of forest fires we see today. Finally, it is suggested that a new generation of forest fires is being triggered by climate change, among other causes.

Keywords: Forest fire, social history, climate change.

El texto de este artículo corresponde a una traducción al castellano, con ligeras modificaciones, de la ponencia presentada en el Coloquio Galego Portugués sobre “Unha nova xeración de lumes” organizado por el Consello da Cultura Galega, en Santiago de Compostela, el 18 y 19 de enero del 2018, sometido en el 25-02-2018, revisado por pares a 06-09-2018 y aceptado para publicación en 27-09-2018.

Este artículo es parte integrante de Revista *Territorium*, n.º 26 (I), 2019, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introducción

En el otoño del 2017 la NASA publicaba una gráfica sobre los incendios que habían tenido lugar en el mundo en ese año y la impresión que transmitía era de que por todo el planeta había señales de los mismos, lo que parecía sugerir que los incendios era algo propio del planeta Tierra y que prácticamente ningún rincón de él estaba libre de ellos.

De todas maneras, si la representación se hiciese con más detalle y sobre todo se tuvieran en cuenta períodos más amplios de tiempo, aparecerían determinadas zonas del mundo en las que se concentrarían de una manera más relevante como sucedería p.e. con las savanas o, sobre todo con los territorios de clima mediterráneo. Este clima se sitúa entre los 30 y 45° de latitud, tanto del hemisferio norte como sur y en él se encontrarían territorios como California, la cuenca del Mar Mediterráneo, Chile, Sudáfrica y Australia suroccidental, países donde los incendios de sus espacios forestales no solo está ocupando hoy en día las noticias de actualidad de los diarios sino que su persistencia a través de la historia de estos países fue dejando huellas evidentes en su paisaje e incluso en su cultura. Esta sensibilidad de los climas mediterráneos a los incendios forestales se deriva fundamentalmente de las características de inflamabilidad que le transmite al combustible vegetal: unos otoños-inviernos de temperaturas suaves y lluvias relativamente abundantes que favorecen el crecimiento de una biomasa que después, con la sequía estival propia de estos climas, se vuelve fácilmente combustible.

El mediterráneo euro-afro-asiático no solo es el más extenso del planeta sino que también fue el primero que

dio origen a una civilización agrícola y a una cultura que fue la base de la civilización occidental actual. Como señala S.J. Pyne, (1997) este mediterráneo es bastante más que un clima pues define también “*a place, a climate, a biota and a paradigm*”. El fuego se integró en su propia historia y no solo fue la herramienta fundamental con la que las prácticas agrarias y pastoriles fueron conquistando territorios cada vez más difíciles, sino que también dio origen a una vegetación adaptada a la convivencia con los incendios y a un territorio en el que sus señales aparecían claras y persistentes en el paisaje. En este espacio, la fachada más occidental, la que mira hacia el Atlántico, aparece con unas características propias y diferenciadas del resto pues las abundantes masas de aire húmedo procedentes del océano hicieron que el período otoño-invierno acogiera unas precipitaciones más abundantes y dilatadas en el tiempo que en otros territorios de la cuenca mediterránea (Coimbra, 1082 mm. anuales, frente a Roma, con 798 mm. o Jerusalen, con 477 mm.) que sumadas a las temperaturas suaves de todo el año daban origen a unas condiciones óptimas para el crecimiento vegetal, que sin dudas, es el más importante de toda la cuenca.

Como consecuencia de estas condiciones tan favorable para la acumulación de combustible, Galicia y Portugal, que son los dos únicos países que miran al Atlántico desde el Mediterráneo, son también los que padecen un mayor número de incendios de todo este territorio (sobre todo desde el río Ulla, en Galicia, hasta el río Tajo, en Portugal, como muestra el mapa de N. Koutsias, *et al.* (2015) para el período 2000-2010 (fig. 1).

Esta singularidad de este espacio atlántico-mediterráneo bastaría para considerar el interés y pertinencia de

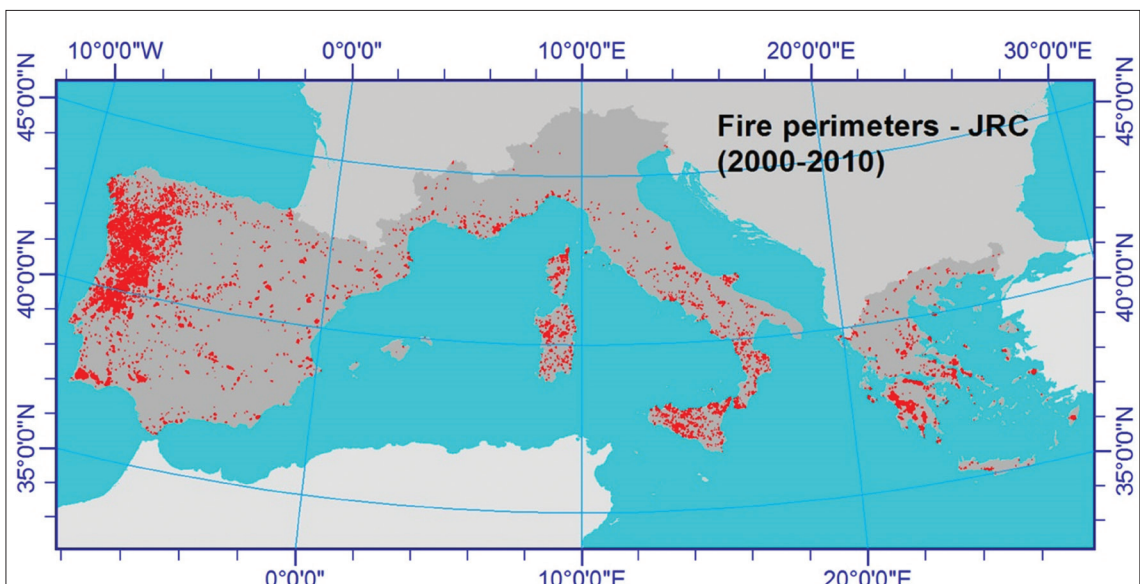


Fig. 1 - Incendios en la cuenca mediterránea, período 2000-2010 (Fuente: N. Koutsias, 2015).

Fig. 1 - Fires in the Mediterranean basin, 2000-2010 (Source: N. Koutsias, 2015).

intentar escribir una historia común con relación a los incendios forestales, iniciativa que se vería reforzada con el hecho de que hasta el siglo XII fue un territorio compartido por un mismo pueblo que, incluso después de esa fecha siguió manteniendo importantes similitudes geográficas y sociales.

Periodos en la historia del fuego

Existen diferentes propuestas para dividir la historia del uso del fuego y de los incendios forestales en la Tierra. Para este trabajo se considerará como marco temporal el esquema de M. J. S. Bowman, *et al.* (2011) referido a toda su historia desde sus orígenes hace cientos de millones de años hasta la actualidad, completada para la etapa de la modernidad por la de J. G. Pausas, J.G. y J. E. Keeley (2009).

De acuerdo con dicho autor la historia del fuego sobre la tierra se puede dividir en las siguientes “*fases píricas*”:

- A - Fuegos naturales biosféricos, fuera de toda intervención humana
- B - Fuegos salvajes antropogénicos, en la que se suman a los fuegos naturales los producidos por las actividades del hombre prehistórico.
- C.-Fuegos antropogénicos agrícolas, generados por el pastoreo y la agricultura.
- D - Fuegos producidos por actividades antropogénicas en un contexto industrial
- E - Fuegos relacionados con el cambio climático y la modificación del combustible.

De acuerdo con los primeros autores, el origen y posterior evolución de los fuegos va a depender de lo que definen como “*El Triángulo del Fuego*” en el que interaccionan tres factores: oxígeno, calor y combustible. En los primeros tiempos de la historia de la Tierra con una atmósfera anóxica eran imposibles las combustiones, por lo que fue necesario la llegada de los primeros organismos fotosintetizadores (las algas y después los vegetales superiores) para que el oxígeno hiciera su aparición. Posteriormente, con la colonización vegetal de los continentes emergidos, apareció el combustible como segundo elemento del triángulo, que unido al oxígeno atmosférico y a una fuente de ignición natural como podían ser los rayos o los volcanes dieron origen a los primeros incendios: los correspondientes a la primera “*fase pírica*” (A), como las define Bowman, que sucedía según los últimos datos, en el Silúrico, hace 400 millones de años.

La presencia ubicua de carbones en los sedimentos desde esas fechas muestran la importancia de los incendios naturales como factores de la evolución de los ecosistemas actuando en algunos casos como fue

el del género *Pinus* o de algunas especies herbáceas y de matorral como agentes decisivos de su éxito evolutivo, siendo responsables, incluso, de algunas de sus características más notables como sucede p.e. con la típica corteza de las coníferas.

La aparición de los primeros homínidos en África hace 2.5 millones de años (en la actualidad existen otras teorías que introducen ciertas novedades espacio temporales sobre el origen de estos antecesores del hombre actual, pero en este trabajo solo se considerará la que podríamos calificar como “teoría clásica”) supuso un cambio substancial en el papel del fuego en la naturaleza ya que estos nuevos primates comenzaron a utilizar el fuego como una de sus destrezas de supervivencia más efectivas. Existen evidencias desde hace 1.5 millones de años que muestran como el *homo erectus* empezaba a tener ya un cierto control sobre este elemento y que desde algo menos de un millón de años (0.79 millones) como ya era conocido en el Este Próximo, desde donde posiblemente se difundió hacia Europa (J. G. Pausas, y J. E. Keeley, 2009).

Durante el Paleolítico y Mesolítico donde existía una sociedad de cazadores y recolectores, el fuego era ya utilizado en múltiples aplicaciones: aclareo de bosques y matorrales para facilitar la caza y los asentamientos, apertura de sendas, cocinado de alimentos, control de alimañas, regeneración de recursos vegetales y, por supuesto, como arma de guerra. Apareciendo una nueva naturaleza en la que la desaparición de determinadas formaciones vegetales por los incendios y su sustitución por otras más adaptadas a la convivencia con el fuego estaba a originar un nuevo paisaje. De acuerdo con el esquema de Bowman estaba haciendo su aparición la fase pírca (B) de “*incendios salvajes antropogénicos*”.

Los primeros agricultores de la Iberia atlántica

El Neolítico define el paso de sociedades nómadas de cazadores y recolectores a otras en las que a partir de las técnicas agrarias podían llegar a establecerse con más o menos continuidad en un determinado lugar. Estos pueblos consiguen mediante las técnicas de las rozas y estivadas, que aprovechaban la fertilidad que aportaban las cenizas de la vegetación quemada previamente, que cultivos de cereales pudieran mantener una pequeña población asentada en un determinado espacio. Cuando la fertilidad del suelo se agotaba por los sucesivos cultivos había que practicar el mismo sistema de quema y cultivo en otros lugares hasta volver de nuevo al punto de partida, después de varios años y al recuperarse su fertilidad, por lo que estas prácticas se denominaron también de agricultura itinerante. Se acepta que el Neolítico nació en Asia Menor hace unos 10.000 años y que desde allí se extendió en oleadas sucesivas hacia el resto de los pueblos europeos, llegando a la Península

Ibérica hace unos 6.000 años. Esta actividad agraria se vio también acompañada por el aprovechamiento de los pastos como alimento del ganado ovino o vacuno mediante su regeneración por el fuego, por lo que estas sociedades neolíticas serían definidas finalmente como de agricultores y pastores que, en cualquier caso, tenían siempre al fuego como herramienta básica de supervivencia. Estas actividades daban origen, sobre todo, a fuegos controlados que de todas formas en situaciones climatológicas adversas derivarían hacia incendios de muy variables dimensiones. Se correspondería ya con la denominada fase pírica (C) de “*fuegos antropogénicos agrícolas*”.

Las técnicas que empleaban el fuego para poner en cultivo una determinada zona de bosque fueron mejor conocidas después de las experiencias de J. Iversen (1956) en Dinamarca y fue denominada “*landnam*” o “*ignicultura*” o de una forma más popular como “*cultivo mediante el fuego*” o “*cultivo en tierra quemada*”, que con diferentes variantes llegó hasta nuestros días como modelo conceptual básico para explicar el aprovechamiento agrícola del suelo en el Neolítico (R. Fábregas, *et al.* 1997). El conocimiento actual sobre la aplicación de estas técnicas en un territorio determinado proviene de los análisis de polen de suelos y sedimentos y de otros complementarios como el estudio de los carbones fósiles. Estos métodos permiten conocer el impacto del fuego sobre las formaciones vegetales, sobre todo sobre los bosques y las diferentes etapas que siguen a su destrucción por el fuego, así como la identificación de los diferentes cultivos y plantas acompañantes que presuponen también el uso del fuego. En España y Portugal existen en la actualidad un número muy importante de estos análisis que se sintetizarán siguiendo, sobre todo, las revisiones de R. Fábregas, *et al.* (1997) (fig. 2) y A. Monteiro, *et al.* (2006) con algunas adiciones puntuales de trabajos más recientes como los de Y. Carrión, *et al.* (2012) y S. Connor, *et al.* (2012).

Las primeras evidencias de incendios en el territorio gallego portugués son anteriores a la utilización del fuego para la agricultura, ya que en la Serra da Estrela hay claras señales de grandes áreas afectadas por el fuego que dieron origen a importantes depósitos de carbones de una edad de entre 11.300-11.400 BP (S. Connor, *et al.*, 2012) y en los montes del Buio y O Xistral, en Galicia, en el entorno de los 7.500 BP existen también testimonios fósiles de grandes incendios (R. Fábregas, *et al.*, 1997). En estos casos, tendríamos que pensar que fueron incendios descontrolados los que generaron las señales paleobotánicas correspondientes porque la utilización del fuego más habitual en estos tiempos era solo para pequeños aclareos del bosque que facilitarían la caza, la recolección y las tareas domésticas. En esta época existía sobre todo una fuerte

expansión del bosque de quercíneas que en amplias zonas cubría en masas compactas una buena parte del territorio gallego-portugués.

El pastoreo del ganado ovino y vacuno originó las siguientes señales paleobotánicas de uso del fuego que era aplicado en primavera para dar origen, después, a una buena vegetación herbácea e incluso, cuando era el matorral lo que se quemaba, para generar brotes verdes comestibles. En la Serra da Estrela desde los 6.400 BP. Existen evidencias de incendios relacionados con esta economía que terminó por asentarse en las sierras portuguesas de una forma consolidada hacia los 4.000 BP. En Galicia, esta actividad está menos documentada, pero existen evidencias de sus comienzos en Campo Lameiro sobre los 6.300 BP, que, igualmente, se asienta de una forma ya muy evidente sobre los 5.500-4.400 BP. (Y. Carrión, *et al.*, 2012). No es fácil estimar la extensión de esta práctica del pastoreo pero sería posible que sobre los 5.000-4.000 BP. una buena parte de las sierras gallegas y portuguesas estuvieran ya deforestadas y cubiertas de una vegetación herbácea y que, como consecuencia de las quemas sistemáticas a las que estuvieron sometidas, se originaran incendios descontrolados cuando las condiciones meteorológicas fueran adversas.

La práctica de la ignicultura mediante rozas de ciclo largo o corto (E. Boserup, 1967) es probable que coincidiera en sus comienzos con la economía pastoril pues existen evidencias aisladas de polen de cereal y otras plantas sinantrópicas en épocas tan adelantadas como 6.450 - 6.240 BP (Chan de Lamoso, P. Ramil-Rego, *et al.*, 1994) pero su consolidación no se produce hasta el quinto milenio BP en el que se instala el sistema agropastoril y la propia agricultura se diversifica con otras especies como la cebada, leguminosas o lino, que atendían a otras necesidades que las puramente alimentarias. Este cambio también se pudo demostrar en yacimientos arqueológicos y sedimentos del norte de Portugal (R. Fábregas, *et al.*, 1997). Su generalización a todo el territorio gallego portugués daría origen a lo que J. M. Van Mourik (1986) denominó “*estepa cultural*” y que situó en el entorno de los 3.700 BP.

La sedentarización definitiva de las poblaciones sucedió en el tercer milenio BP con la cultura de los castros. En el entorno de estos asentamientos comenzó a practicarse una agricultura territorialmente estable gracias a las aportaciones de fertilizantes para el suelo de las deyecciones animales de la cabaña doméstica que se había incorporado a la economía de la familia o del clan. Pero también el cultivo itinerante mediante rozas continuó siendo un complemento indispensable que no solo no se abandonó sino que incluso aumentó y siguió con su proceso deforestador, que en esta época estaba ya dando origen como sucesión vegetal post incendio

a amplios territorios de brezales de *Erica* y *Calluna*, que poco a poco comenzaron a incluir a otras especies pioneras como *Ulex*.

En el período romano y altomedieval estos testimonios derivados del análisis de polen y de los restos carbonizados siguen siendo las referencias fundamentales de los efectos del fuego, pues los documentos escritos son prácticamente inexistentes. En los estudios, ya citados, de la Charca de la Candiera en la Serra da Estrela y de Campo Lameiro en Pontevedra se aprecia un incremento importante de la presión agropastoril que lleva a la práctica desaparición del bosque de *Quercus*, otrora dominante, y su substitución por una amplio matorral de ericáceas y leguminosas, así como algunas herbáceas que pasan a ser colonizadoras secundarias del territorio.

Como novedades importantes en relación con las especies utilizadas en esta época se tendría el caso del castaño, que aunque era conocido ya desde hacía bastante tiempo fue con la romanización cuando comenzó su expansión por el territorio gallego portugués sobre suelos que no tuvieran demasiadas restricciones para el crecimiento vegetal, al abrigo de los vientos y no muy alejados de los asentamientos poblacionales. El centeno, conocido también desde hacía tiempo pero que no era utilizado como alimento quizá por el color oscuro de su harina o incluso por los problemas relacionados con el ergotismo, fue introducido y difundido por los pueblos germánicos que estaban muy acostumbrados a su consumo. El incremento de la población y su buena

adaptación a los suelos más pobres, como podían ser los de las montañas muy castigadas ya por los incendios, hizo que fuera adoptado sin muchos problemas como el cereal de elección para la ignicultura como demuestran con claridad p.e. los diagramas de polen de la Serra da Estrela.

En este período, las quemas descontroladas del monte comenzaban a ser muy frecuentes, de tal manera que en un documento tan antiguo como el “*Fuero Juzgo*” (año 634) se recogen las penas que debían aplicarse para aquellos que quemasen los montes, intencionadamente o por descuido, siendo por otra parte una de las primeras referencias escritas en la Península Ibérica con relación al problema de los incendios forestales (fig. 3). Normas semejantes, que penalizan a los que por activa o pasiva desencadenaban incendios, son las recogidas en códigos posteriores como el de Alfonso X, de 1253 o en otros de tipo local como el Fuero de Santiago, que en 1252, recogía: “*que nenguen faga fuego para quemar los montes, et a los que fallaren haciendo, quel echen dentro*” (L. Guitián, 1999).

Existen muchas evidencias de que desde el siglo VII al XIII hubo un período de crecimiento de la población que fue acompañado de una expansión y mejora de las prácticas agrarias: las tierras más aptas para el cultivo fueron aprovechadas casi en su totalidad e incluso hubo que recurrir al monte para incrementar su fertilidad con los aportes periódicos de matorral y así mismo acudir a las cada vez más necesarias rozas que había que

Años B.P.	8.000	7.500	7.000	6.500	6.000	5.500	5.000	4.500	4.000	3.500	3.000
Actividad Deforestadora	●	●●●	●	●	●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●●
RESTOS VEGETALES											
Recolección de plantas	●	●	○	○	○	●●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●●
Polen de cereal y ruderales						●	●●	●●	●●	●●	●●●
Macrorrestos cultivos						●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●●
RESTOS VEGETALES											
Animales domesticados						○	●	●●●	●●●	●●●	●●●●
Caza	○○	○○	○●	○○	○○	○	●	●	●	●	●
Pesca y marisqueo			●	○	○	○	●	●●	●	●	●●●●
TUMULOS						●●	●●●	●●	●●	●	
○ Supuesta presencia											
● Presencia											

Fig. 2 - Actividades relacionadas con la agricultura en el Neolítico gallego (Fuente: R. Fábregas, et al., 1997).

Fig. 2 - Activities related to agriculture in the Galician Neolithic period (Source: R. Fábregas, et al., 1997).

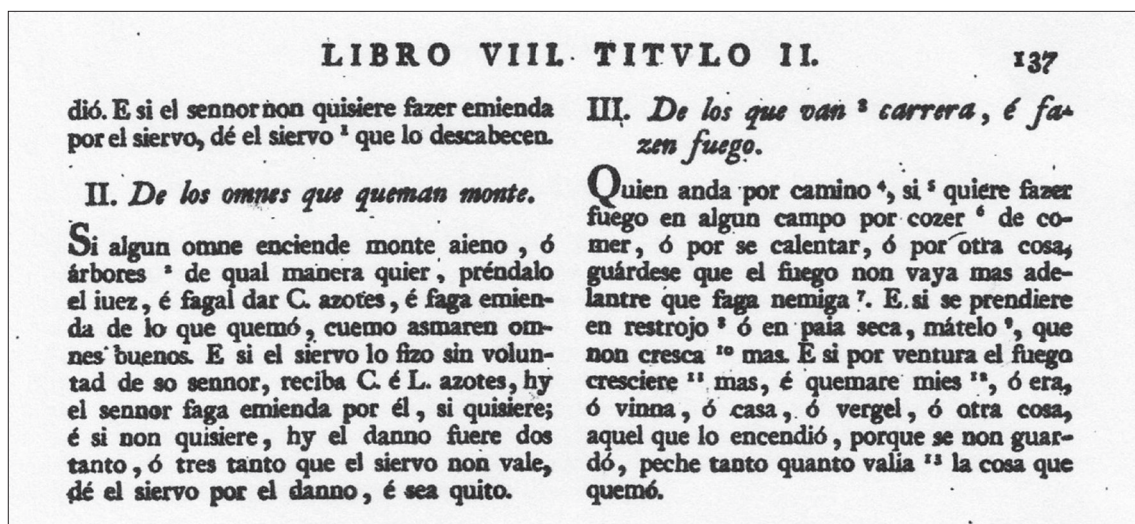


Fig. 3 - Fragmento del Fuero Juzgo (versión de la Real Academia Española, del año 1815) en el que trata de las penas para las personas que queman los montes (Fuente: Publ. Boletín Oficial del Estado, Madrid, 2015).

Fig. 3 - Fragment of the Fuero Juzgo (version of the Royal Spanish Academy, from 1815) which deals with the penalties for people who burn the mountains (Source: Publ. Official Bulletin of the State, Madrid, 2015).

poner temporalmente en cultivo (R. Villares, 1980 y T. Ferreira, 2008). Posiblemente, fue un momento en el que los incendios descontrolados volvieron a tener una renovada incidencia. El bosque retrocedió en la primera parte de este período de una forma muy evidente seguido de una fuerte expansión del matorral pero poco a poco comenzó a manifestarse de nuevo una lenta pero progresiva recuperación (A. Martínez-Cortizas y M. Costa-Casais, 2016). Esta fue una época que culminó con la independencia política de Portugal.

Estos siglos de bonanza dieron paso a partir del XIV a un período de crisis en el que los recursos comenzaron a escasear y las epidemias, entre las que destacaba la de la peste, hicieron su aparición. También las guerras completaron este negro panorama: luchas civiles en Portugal y Galicia, así como las fronterizas contra moros y castellanos vinieron a sumarse a las calamidades anteriores, de tal manera que la población dejó de crecer e, incluso en muchas zonas, retrocedió con la consiguiente disminución de la presión sobre las tierras de cultivo y de monte. A partir del siglo XV comenzaron a sentirse señales de recuperación: nuevos cultivos y nuevas formas de organizar el trabajo agrícola con rotaciones que permitían el mantenimiento de la fertilidad de las tierras de labradío y un desarrollo de la ganadería trashumante que permitieron que de nuevo la población comenzará a crecer. Se estaban dando ya los primeros pasos hacia la Edad Moderna.

La Edad Moderna

La expansión del urbanismo fue un hecho muy característico de esta época ya que en ella fue cuando

comenzó la creación de las grandes ciudades europeas. De todas formas en el área galaico-portuguesa que nos ocupa fue un proceso de una cierta debilidad, pues excepto el caso de Lisboa que alcanzó los 100.000 habitantes en los principios del XVI en el resto de las actuales ciudades (Santiago, Pontevedra, Braga, Porto, Coímbra, etc.) no se llegaba a los 10.000. De todas formas, esta debilidad no impidió que se constituyeran estos pequeños núcleos urbanos en focos de una demanda importante de nuevos materiales como p.e. el hierro y el vidrio que tenían en el carbón vegetal un recurso imprescindible para su elaboración.

Los procesos de fabricación de este producto que eran conocidos y practicados desde hacía varios siglos alcanzaron un desarrollo singular en este período que solo fue interrumpido por la aparición del carbón mineral en las primeras décadas del XIX. Los carboneros que proliferaron en el entorno de los centros de demanda (ciudades, ferrerías y fábricas de vidrio, entre otros) generaron una importante actividad deforestadora por la cantidad de material leñoso que precisaban y también fueron origen de incendios descontrolados, por lo que las advertencias o normas penales que regulaban el control del fuego también fueron dirigidas hacia esta actividad.

De todas formas, más importantes y frecuentes fueron las advertencias hacia otras actividades como eran el pastoreo y la roturación de nuevos espacios para el cultivo y que como consecuencia del importante crecimiento demográfico que se alcanzó en este período (desde principios del XVI hasta finales del XVIII se duplicó la población en Galicia y Portugal) fueron sin duda, las principales actividades generadoras de incendios, que cuando la climatología no era la adecuada por las sequías

o el viento, se propagaban por todo el país tal como recoge una crónica de Santiago de Compostela del año 1685: *“tan secos fueron el verano y el estío de 1685, que se agotaron las fuentes y río; ardían los montes”* (J. M. Fontana, 1977).

El pastoreo en las zonas de monte se incrementó de una manera importante por las necesidades de carne, leche y lana que una población en crecimiento constante exigía, aunque a lo largo de este período se pudo constatar una disminución en los efectivos ganaderos del monte. En general, era una actividad que competía con la agricultura y silvicultura y que, en la mayoría de los casos, sobre todo con grandes rebaños, eran depositarios de unos derechos protegidos por el clero, los nobles y los propios monarcas. La práctica de quemas para regenerar los pastos era una actividad que nadie dudaba en poner en práctica e, incluso, con las primeras legislaciones sobre fuegos, hubo una cierta permisividad, que con el tiempo y la reiteración de los incendios fue desapareciendo. En esta época prácticamente todas las sierra galaico-portuguesas estaban deforestadas e incluso, biológicamente muy degradadas, por el pastoreo continuado al que eran sometidas.

De todas maneras la actividad a la que se le puede atribuir la mayoría de los incendios de la época fue la de las nuevas roturaciones de monte mediante el fuego. Todas las legislaciones y normas que se fueron redactando hacen referencia a ellas y, por otra parte, existe una gran coincidencia entre los historiadores al afirmar que los rendimientos de los cultivos por unidad de superficie aumentaron muy poco en este período, por lo que los necesarios aportes en cereales que se precisaban como alimento para una población creciente, solo podían venir de la ampliación de la superficie cultivada. Como ya las tierras de vocación agrícola (valles y cuevas allanadas por los aterrazamientos) estaban ya prácticamente ocupadas por los cultivos tradicionales, la única ampliación posible era a costa de roturaciones del monte sobre suelos cada vez menos productivos. De esta forma, el riesgo de incendios se iba extendiendo por el monte en oleadas de cultivo itinerante cada vez más amplias.

Como consecuencia de que el fuego iba afectando cada vez con más frecuencia a las zonas en pendiente la erosión del suelo se manifestó también como una consecuencia casi inevitable de las quemas que dejaba sus huellas más evidentes en el relleno de los cauces fluviales por acumulación de sedimentos. De estos efectos hay testimonios tan antiguos como las prohibiciones de la ciudad de Coimbra, de 1464, de hacer fuegos a menos de media legua de las márgenes del río (carta regia de Alfonso V) reiteradas de nuevo en 1492, polo *“[...] grande dano que o campo da nossa cidade de cojimbra Reçebe pelas mujtas áreas que nelle recreçem por causa dos mujtos fogos que se pooem per as matas e charnecas*

arredor do Rio Mondeguo [...]”. Más adelante y ya en la Galicia y Asturias del XVIII, las rías del Cantábrico experimentan un proceso acusado de pérdida de caudal que el Marqués de Sargadelos atribuye, en 1778, a los numerosos incendios que sufren los montes:

“[...] A que parte arrojaremos la vista que el fuego repetido de 6 en 6 años por una reprehensible costumbre no haya llevado á un punto final la desolación...Los bosque mas soberbios de robles, muy comunes hasta ahora en Asturias y Galicia, han desaparecido en la mayor parte, y en su lugar solo se miran montañas decepadas, valles talados, colinas devastadas... A estos perjuicios se siguen otros secundarios e inevitables. Las aguas que se forman de las lluvias, exemptas del embarazo de las espesuras y malezas... se despeñan y precipitan desde lo mas alto de las cumbres hasta los mas profundo de los valles y de los ríos...De aquí tiene el origen el haberse visto en nuestros días (o cunado mas desde principio de este siglo) atollar muchos de los Puertos de mar casi inhabilitados para la navegación mercantil” (E. Casariego, 1950).

La importancia que tanto en España como en Portugal fue adquiriendo a partir del siglo XVI la construcción de barcos para atender las necesidades cada vez más apremiantes de sus amplios imperios coloniales, dio origen a que como consecuencia del interés por las maderas de utilidad naval, éstas fueran cada vez más buscadas y protegidas. Muchas masas forestales fueron declaradas de *“interés Real”* y pasaron a ser gestionadas por la Marina que dictó normas y dispuso medios para su protección. Una nueva silvicultura comenzó a practicarse de manos de estos técnicos que no solo intentaron salvar estos recursos sino que, sobre todo, comenzaron de una forma sistemática y racional, a recuperar las masas forestales con repoblaciones y nuevos plantíos.

En los dos países toda una nueva legislación forestal comenzó a hacer su aparición y en ella, con mayor o menor insistencia, la preocupación por el control de los incendios fue siempre un tema importante y recurrente. De gran interés son las denominadas Ordenaciones Manuelinas (de Manuel I) en las que, ya en 1521, se hacía mención a la necesidad de controlar el sotobosque como medida de prevención del fuego: *“[...] pelo facto dos pinhais não serem limpos do mato, seguem-se grandes inconvenientes de serem queimados”*. (A. Monteiro, et al., 2006). Más adelante el rei Felipe II (Filipe I de Portugal) que teían una arraigada preocupación en la defensa de árboles y jardines (E. Bauer, 1980) vuelve a insistir en las llamadas Ordenaciones Filipinas (1603) sobre los peligros de los incendios forestales y de la necesidad de que los vecinos acudan por obligación a su control. *“Defendemos, que nenhuma pessoa de qualquer quelidade e condiçao*

que seja, ponha fogo em parte alguma, e pondo-se algum fogo em lugar que possa seguir dano, os Juizes e Officiais das Cidades, Vilas e lugares, onde tais fogos se <avalantarem>, acudam, e façam a eles acudir com muita diligencia para prestes apagar". Describiendo después toda un conjunto de medidas punitivas que iban desde la compensación de daños hasta la deportación por dos años en África (A. Monteiro, et al., 2006).

Igualmente se puede señalar que fue en este período cuando comenzó en Portugal la expansión del *Pinus pinaster*, especie cuya especial afinidad por el fuego es responsable en buena medida de los incendios forestales posteriores. Frente a las preferencias que tenía la legislación española, p.e. en Galicia, por las repoblaciones en los plantíos de la Marina de las especies eurosiberianas de los *Quercus*, en el caso portugués fue el pino marítimo la especie de preferencia. El Pinhal do Rei de Leiria de más de 10.000 hectáreas, iniciado en el siglo XIII en los tiempos de Alfonso III, con plantaciones de diferentes especies de pinos, a finales del siglo XV estaba fuertemente degradado por la multitud de incendios o las cortas fraudulentas que había padecido. Felipe II lo regeneró totalmente, pero en este caso con plantaciones exclusivas de pino marítimo de las que salieron una buena parte de las maderas con la que fue construida la flota de navíos portuguesa. A partir de este pinar emblemático parece que se produjo una importante difusión de esta especie forestal, de todas formas no se puede ignorar que en muchas zonas del interior aparecerán plantaciones a partir de la regeneración de pequeños enclaves de esta especie tan propia de la historia forestal portuguesa. En Galicia, de acuerdo con Ruiz Zorrilla, P. (1980) la penetración de esta especie comenzaría a finales del XVII en el Baixo Miño procedente de Portugal.

Esta época termina, tanto en Galicia como en Portugal con el aliento reformador de la Ilustración que aporta formulaciones racionalistas y sistemáticas a la problemática forestal. Aun no existía la silvicultura como ciencia propia y bien definida, que sería un logro del siglo siguiente, pero ya los métodos de abordaje de esta temática se comenzaban a realizar con los nuevos conocimientos en economía y ciencias naturales que la razón y el método incorporaban. Para el territorio galaico portugués hubo dos personalidades ilustradas que supieron encarar la problemática de los bosques, y como consecuencia el tema de los incendios, con ese pensamiento renovador. Por una parte, el político y mineralogista brasileño, profesor en Coimbra, José Bonifacio Andrada e Silva (fig. 4), quien en 1803 fue nombrado Guarda-Mor de Bosques e Matas, que en 1815 publica el primer libro portugués sobre temática forestal: *Memoria sobre a necessidade e utilidade de novos plantios dos bosques en Portugal*. Diseñó las nuevas repoblaciones de los arenales costeros y sobre todo defendió actuaciones muy en la idea humboldtiana

de la utilidad de los bosques en la mejora de la calidad del agua y del aire. Destacó con claridad los efectos negativos de las deforestaciones en las pendientes con relación a sus efectos sobre la erosión y las inundaciones, señalando a las "*queimas dos pastores*" como una de las causas relevantes de estos problemas.

En Galicia, el empresario Antonio Raimundo Ibañez, Marqués de Sargadelos, tenía una preocupación permanente en la necesidad de mantener en condiciones de una adecuada explotación económica los bosques de la mariña luguesa y asturiana. Y aunque el carbón vegetal que precisaban sus factorías era una de las causas importantes de deforestación, proponía que el consumo de madera que necesitaban fuera compensado por nuevas plantaciones, como la que realizó en Sargadelos de pinos en un régimen de aprovechamiento sostenible (fig. 5). Escribió sobre los daños de los incendios, a los que les atribuía, como ya se comentó, importantes problemas de erosión y arrastres hacia las rías, pero sobre todo protestó contra ellos en sus *Discursos Económicos-Políticos sobre la resturación de los montes y plantios españoles* (1802):

"A pesar de la multitud de enemigos que por todas partes asaltan a nuestros montes, nunca hubieran llegado al estado deplorable y lastimoso a que se hallan reducidos si la legislación desde un principio se hubiera esforzado a desterrar los incendios. No es posible dar una idea cabal de los males que han causado.

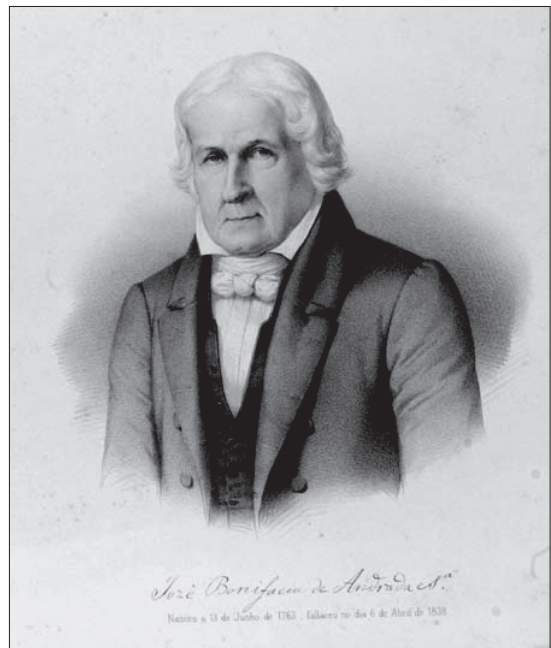


Fig. 4 - José Bonifacio Andrada e Silva (1763-1838)
(Fuente: commons Wikipedia.org).

Fig. 4 - José Bonifacio Andrada e Silva (1763-1838)
(Source: commons Wikipedia.org).

[...] las aguas de las riadas que suceden a las quemas, libres de los estorbos de las malezas que antes detenían, se precipitan con violencia, arrastran y llevan consigo las cenizas y todo lo que es movable hasta llegar al barro y a la peña.

[...] El fuego abrasa y devora en un día el bien gratuito que a la naturaleza le costó muchos siglos. Se puede decir que entre todos los desórdenes es el enemigo más temible y destructor de los montes.

[...] A cualquier parte que miremos no se ven sino colinas abrasadas, montañas desnudas, cañadas y quebraduras devastadas, comunes y baldíos pelados, y tal o cual reliquia de algunos bosques feraces que pugnan todavía por conservarse”.

El bosque y los incendios en la era de las técnicas

Siguiendo con el esquema de D. M. Bowman (2011) entraríamos ahora en la fase (D) correspondiente a la revolución industrial y a la modernidad. Esta nueva etapa podría coincidir desde el punto de vista de los incendios forestales con el cambio de fase “antropogénica” que proponían J. G. Pausas, *et al.* (2009) sobre una idea anterior de Guyette *et al.* (2002). Según estos dos trabajos, sobre 1850 (esta fecha se refiere a la experiencia americana en la que se basó Guyette *et al.* (2002) pero sugieren que puede variar de unos países a otros) se produce un cambio desde los incendios que califican como de “ignición dependientes” hacia los

“limitados por el combustible” (Guyette *et al.*, 2002) o “controlados por el combustible” (J. G. Pausas, *et al.*, 2009). En el primer caso serían fundamentalmente las actividades antropogénicas de subsistencia las que estarían implicadas y como un referente de las mismas se tendría la densidad de población o la superficie agraria, mientras que en el segundo caso, sería la acumulación o el manejo del combustible la causa determinante de los incendios. De todas formas se considera como más acertado utilizar como definición de esta época dominada por la industrialización y la técnica, siguiendo a A. Monteiro, *et al.* (2006), la llegada de los nuevos técnicos forestales formados en la enseñanza superior, ya que “*pela primeira vez, vamos encontrar, entre nos, expressões de verdadeiro carácter técnico a respeito de ideias ou conceitos sobre combate ou defesa contra incendios forestais, nao a simples constatação dos riscos e das punições*”. Antes, podríamos estar hablando de aficionados más o menos preparados, ahora ya estaríamos delante de verdaderos técnicos silvicultores superiores.

En Portugal, antes de la creación de los primeros cursos superiores de enseñanza silvícola habría que destacar el trabajo del alemán Friderico L.G. Varnhagen que fue nombrado Administrador Geral das Matas y que fue autor de un fundamental *Manual de Instruções práticas sobre a sementeira, cultura e cortes dos Pinheiros* (1836) en el que aparecen citados con mucha precocidad el interés que tenía para la prevención de incendios en los bosques la realización de fuegos controlados fuera

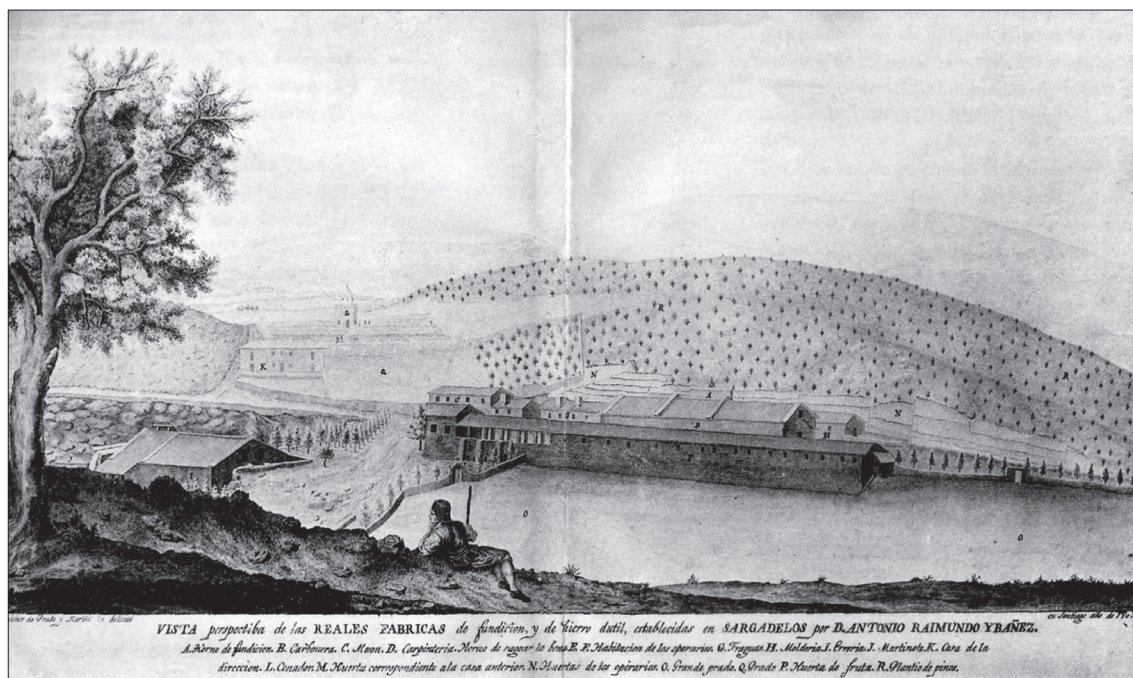


Fig. 5 - Plantación de pinos en el entorno de la factoría de Sargadelos (1803) (Fuente: E. Casariego, 1950).

Fig. 5 - Pine plantation in the vicinity of the Sargadelos factory (1803) (Source: E. Casariego, 1950).

de la época de peligro “[...] un meio seguro de libra-lo de ser incendiado no verão”. También se le debe la que fue, posiblemente, la primera red de cortafuegos de prevención de incendios construida en la Península y que fue iniciada en 1826 en el Pinhal de Leiria a partir de una densa malla ortogonal de 10 y 20 metros de ancho (fig's 6 y 7).

Los primeros forestales portugueses con estudios superiores salieron en 1864 del Curso Superior de Silvicultura del Instituto General de Agricultura de Lisboa. Antes, algunos técnicos forestales portugueses habrían adquirido una buena formación silvícola en Alemania, sobre todo en la Academia de Tharandt, fundada y dirigida por el padre de la dasonomía Heinrich Cotta.

En España, inspirada en los mismos principios científicos de la silvicultura alemana se crea en 1846 la Escuela Superior de Ingenieros de Montes, de donde salieron los primeros técnicos forestales superiores, que llegaron a Galicia, por primera, vez en 1859. Antes, como sucediera en Portugal, hablaron del monte y de sus problemas “aficionados” como el médico Gil Rey o el naturalista Valenzuela (F. Díaz-Fierros, 2006). Y como consecuencia de que los forestales portugueses y españoles aprendieron de las mismas fuentes germánicas, se podría decir también que estaba inspirada por lo que se denominó el “*naturalismo forestal*” que tenía en el pensamiento humboldtiano su origen y fundamento (V. Casals, 1988).

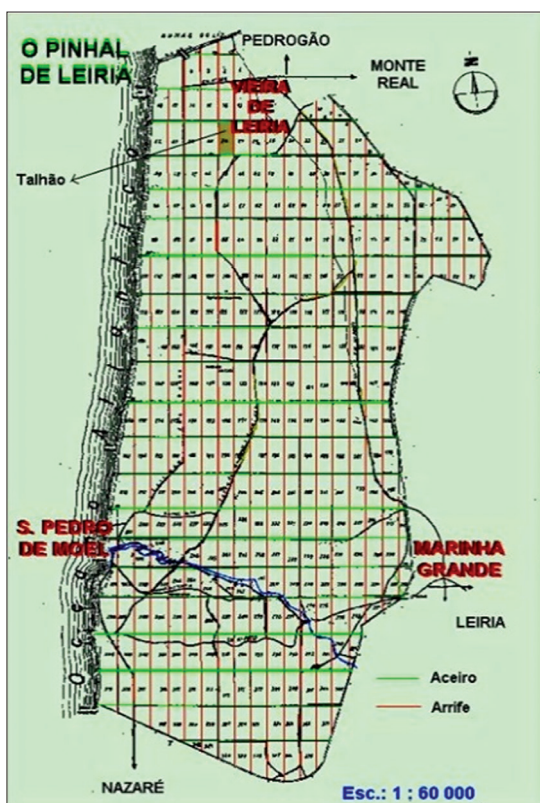


Fig. 6 - Red de cortafuegos en el Pinhal de Leiria (Fuente: <http://opinhaldorei.blogspot.com>).

Fig. 6 - Firebreak network in the Leiria Pine Forest (Source: <http://opinhaldorei.blogspot.com>).



Fig. 7 - Cortafuegos (aceiro) en el Pinhal de Leiria (1909) (Fuente: opinhaldorei.blogspot.org).

Fig. 7 - (Steel) firewall network in Leiria Pine Forest (1909) (Source: opinhaldorei.blogspot.org).

El comienzo de esta época coincide también, posiblemente, con la superficie mínima alcanzada por el espacio forestal (entre el 10 y el 15 % de la superficie total del país), así como de los inicios del proceso reforestador mediante las intensas repoblaciones que caracterizaron al siglo XIX y buena parte del XX. Este mínimo se produciría antes en Portugal (probablemente a mediados del XVIII) y por lo tanto el proceso repoblador también fue más precoz que en Galicia. En cualquier caso, lo que resultó evidente es que todos los incesantes desvelos de la administración de la Marina desde el siglo XVI para establecer plantíos que suministrasen madera suficiente para sus astilleros, terminaron en fracaso pues la superficie forestal prácticamente no experimentó ningún incremento (más bien todo lo contrario) con esas medidas. Por otra parte, toda la reconquista del espacio arbolado que se realizó a partir de ese momento tuvo como protagonista principal al pino marítimo, que desde su nicho tradicional de Leiría, se podría decir que llegó a dominar, en un proceso que duró hasta la mitad del siglo XX, la mayor parte del territorio forestal gallego-portugués. Los datos correspondientes a las superficies dedicadas al pino marítimo en Galicia y Portugal aparecen en la TABLA I.

TABLA I - Evolución de las superficies (en has.) dedicadas a *Pinus pinaster* en Portugal y Galicia.

TABLE I - *Pinus pinaster* plantations (in ha) growth in Portugal and Galicia

	Portugal	Galicia
1752	15.000	240
1859		6.689
1875	210.000	
1902-1903	430.000 - 913.000	
1928	1.131.500	
1947		300.000
1959		500.000
1966	1.287.000	
1972-73		616.000

Fuente de los datos: Ruiz Zorrilla (1980), Devy-Vareta, 1999, X. A. Beiras, (1967) y F. Molina, (1979). Los datos gallegos de los inventarios de 1947 e 1959 son estimados a partir de los valores correspondientes a las categorías "*P. pinaster*" y "*mezclas*".

Data source: Ruiz Zorrilla (1980), Devy-Vareta, 1999, X. A. Beiras, (1967) and F. Molina, (1979). The Galician data of the inventories of 1947 and 1959 are estimated from the values corresponding to the categories "*P. pinaster*" and "*mixtures*".

En el territorio gallego-portugués se puede demostrar que también, más o menos sobre la primera mitad del XIX se llega a los máximos de expansión territorial del mundo rural y que a partir de esas fechas el crecimiento poblacional, que va a seguir progresando hasta la primera

mitad del siglo XX, se va a realizar sobre todo en las villas y ciudades. Éstas, a su vez, absorberán los excedentes de la población rural que no tienen recursos suficientes para sobrevivir, en un proceso ya imparable de huida del campo hacia la ciudad y que se completará en el último tercio del XIX con un fuerte incremento de la emigración americana.

Esta población asentada en lo rural, a pesar de la fuerte expansión de las rozas que se produjo en este período, desarrollará también un eficaz proceso de control del combustible, centrado sobre todo en el matorral de *ulex*, a partir de actividades como la recolección de esquilmos para fertilizante de las tierras (A. Bouhier, 1979), estima que se utilizaba como mínimo una superficie de matorral doble de la que tenían las tierras de cultivo, por lo que según su ya clásica sentencia: "*el monte era el soporte de los cultivos*", fuente de calor, alimentación del ganado, protección de caminos, etc.

A pesar de este control del combustible, esta época va a conocer un incremento de los incendios como forma de protesta del campesinado frente a los drásticos cambios que se van a producir tanto en España como en Portugal en relación con la titularidad del uso y propiedad del monte, sobre todo a partir de los procesos de desamortización e intentos de estatalización de los sistemas comunales y tradicionales de aprovechamiento de este espacio. La llegada de los regímenes autoritarios del Estado Novo y del franquismo, con sus métodos expeditivos de apropiación del uso del monte, radicalizaron las posturas y las respuestas del campesinado.

Estos incendios de carácter socio político se vieron acompañados de los ya clásicos provocados por los fuegos descontrolados originados por el pastoreo y la agricultura de rozas, así como por las quemadas de residuos. Y también hizo su aparición una forma nueva derivada de las actividades excursionistas, en desarrollo creciente sobre todo en el entorno de las grandes ciudades (F. Díaz-Fierros, 2006). Igualmente se puede señalar como característico de este período que la prensa comienza ya a hacerse eco de los casos más notables de incendios y que una literatura más o menos impregnada del pensamiento regeneracionista, sobre todo de Costa, hace su aparición (como ejemplos españoles se podrían citar *La locura de los pastores* (1910) de Francisco Rahola, *La canción del Duero* (1919) de Julio Senador, *Murmullos de la Selva* (1923) de Ignacio Elorriera, o *El riesgo de los incendios en los montes* (1927) de Antonio Lleó).

En Portugal, fue muy destacado un reportaje de la *Ilustração Portuguesa* (suplemento de *O Século* del 4 de septiembre de 1916) sobre un gran incendio en el Pinhal de Leiría, en el que se mostraba, dentro del ambiente dramático general del artículo, una visión muy realista del incendio:

"As chamas rebentaram em tres pontos ao mesmo tempo. Tocadas pelo vento e alimentadas pelo mato miudo e pela caruma seca que cobriam o solo, non tardaram en cruzar-se nun grande mar de fogo. Una coisa sublimemente horrivel!

Buzinas, toques de sino, gritaria, alborocaram as povoações convisinhas, das quuaes a principal é a vila de Marinha Grande. Nas fábricas, nos campos, em casa, não ficou ninguém. Todos mumidos de enxadas, machados, pás, forquinhos, ancinhos, do primeiro instrumento que topavam á mão, abalaram desordenadamente para atacar o fogo...”

Y, sobre todo, una descripción detallada del combate contra el fuego que merece la pena conocer con un cierto detalle:

“Na furia com que toda a gente se atirava ao fogo não havia visivelmente um plano de ataque, executado a uma voz imperiosa de comando; mas havia uma pericia e uma táctica individuaes, que davam ao conjunto dos esforços uma admiravel unidade de ação. Abremse aceiros, compridos e largos, machadando sem piedade belas arvores para atalhar a marcha galopante do fogo, que as devoraria, a elas e a muitas mais, sendo admiravel como essa gente se estendia numa linha rigorosa de combate, sen se estorvare uma a outra...continuavam a manejar o machado... Outros roçavam o mato e procuravam arredal-o do caminho do fogo; estes deitaban pás de terra sobre a vegetação miuda para o abafar; aqueles abriam arrifes á enxada tentando atalhar-lhe a marcha de todas as formas possiveis”.

Pero, quizá, los más sobresaliente sería como se utilizaba ya una técnica tan novedosa en aquella época como era el contrafuego:

“[...] a fase culminante da batalha é o contrafogo. Abre-se um aceiro largo. Lança-se lume, bem entendido, do brusco, um silencio de morte. Se o mar encrespado, bramindo furioso, se estagnasse de súbito n’um lago dormente não nos chocaria mais brutal impressão de contraste. Até o vento se calhou. A forte exclamação de vitoria [...]”

Estas descripciones del incendio de Leiria, donde aparecen los contrafuegos, sumados a las técnicas de creación de cortafuegos conocidas y practicadas, por lo menos en Portugal, desde hacía ya bastantes años nos sitúan ya delante de las nuevas técnicas que se estaban desarrollando en la lucha contra los incendios forestales. Al mismo tiempo otras novedades técnicas como la transmisión de señales a distancia con heliógrafos o posteriormente con telefonía contribuirían a que los avisos y coordinación se pudieran realizar en períodos de tiempo más cortos (fig. 8).

Por otra parte todos los planes de repoblación que se ponen en marcha llevan, en la mayoría de los casos, medidas muy explícitas sobre el control en la prevención y extinción de los incendios, estando muy generalizada la práctica, en este último caso, de la obligatoriedad



Fig. 8 - Guarda forestal transmitiendo un aviso mediante un heliógrafo en un incendio en Oia, Galicia (Fuente: R. Areses, 1929).

Fig. 8 - Forest ranger transmitting a warning using a heliograph in a fire in Oia, Galicia (Source: R. Areses, 1929).

de los vecinos de acudir a la extinción siempre que los servicios forestales o la fuerza pública se lo demandasen, como describe R. Areses, (1929):

“Al notar la presencia del fuego, deberán los pedáneos avisar a los vecinos, dando señales de alarma por medio de bocinas, campanas, ect. Provistas las gentes de azadas y ramaje de los árboles que se encuentren al paso, se podrán a las órdenes del Guarda Forestal, de la Guardia Civil o en su ausencia, de personas capacitadas para asumir la dirección de los trabajos de extinción. Se distribuirá la gente rápidamente a lo largo de la línea de fuego, procurando que quede a sus espaldas un camino, no solo para asegurar la retirada, sino por la mayor facilidad para moverse y detener el fuego. Mientras unos azotan las llamas con el ramaje, los otros manejarán la azada para arrojar tierra y abrir cortafuegos o zanjas cuando el fuego sea subterráneo”.



Fig. 9 - Extinción de incendios con métodos tradicionales (Fuente: R. Velez, 2015).

Fig. 9 - Extinguishing a fire with traditional methods (Source: R. Velez, 2015).

Fue una época en la que, aún que las nuevas repoblaciones forestales ocupaban ya amplios espacios del territorio gallego-portugués en masas en muchos casos excesivamente compactas, los incendios, gracias al control del matorral por los agricultores, pocas veces superaban individualmente el centenar de hectáreas y en el cómputo anual raramente rebasaban las 5.000.

La desarticulación del mundo rural. De los sesenta en adelante

Los procesos de desarrollo económico que se inician en los dos países a partir de los años sesenta así como el atractivo de la floreciente Europa como destino de las poblaciones empobrecidas de las áreas de montaña, generó, entre otras razones, un flujo imparable de abandono del campo de los recursos humanos más activos. En Galicia, entre 1960 y finales de los ochenta los ocupados agrarios pasaron de 660.000 a 330.000 y en los principios del siglo XXI ya se estaba en los 110.000. En Portugal, la población activa agraria paso del millón y medio de trabajadores de 1950, a un tercio menos en 1970 y a algo menos de la mitad, en 1981.

Este éxodo masivo, motivó que las prácticas tradicionales de control del matorral que venían aplicándose en el monte desde tiempo inmemorial dejaran de realizarse y que, como consecuencia, comenzara a acumularse sobre el suelo gran cantidad de material combustible. Y resulta sintomático que al término de menos de diez años, cuando esta acumulación de biomasa alcanzó niveles importantes y las condiciones climatológicas fueron desfavorables, comenzara la progresión de los incendios superando la barrera de las 20.000 has. anuales quemadas, en 1968, en Portugal, y en 1972, en Galicia (fig's 9, 10 y 11). Después comenzó una nueva etapa creciente de incendios en la que se superaron las 100.000 has. anuales, en Portugal en el año 1975 y, en Galicia, en 1978. Al mismo tiempo el número de fuegos en Galicia ya había superado los 6.000 anuales mientras que en Portugal estaba por debajo de los 500 solamente en los incendios de áreas públicas. De todas formas este bajo nivel de ocurrencias ocultaba como contrapartida algunos incendios de gran magnitud que se habían producido en este período como el de Vale do Rei (1961) de 2.500 has., Viana (1962), 5.000, Sintra (1966), 5.000, Vila do Rei (1980), 12.000 ou Argamil (1981) con 10.900

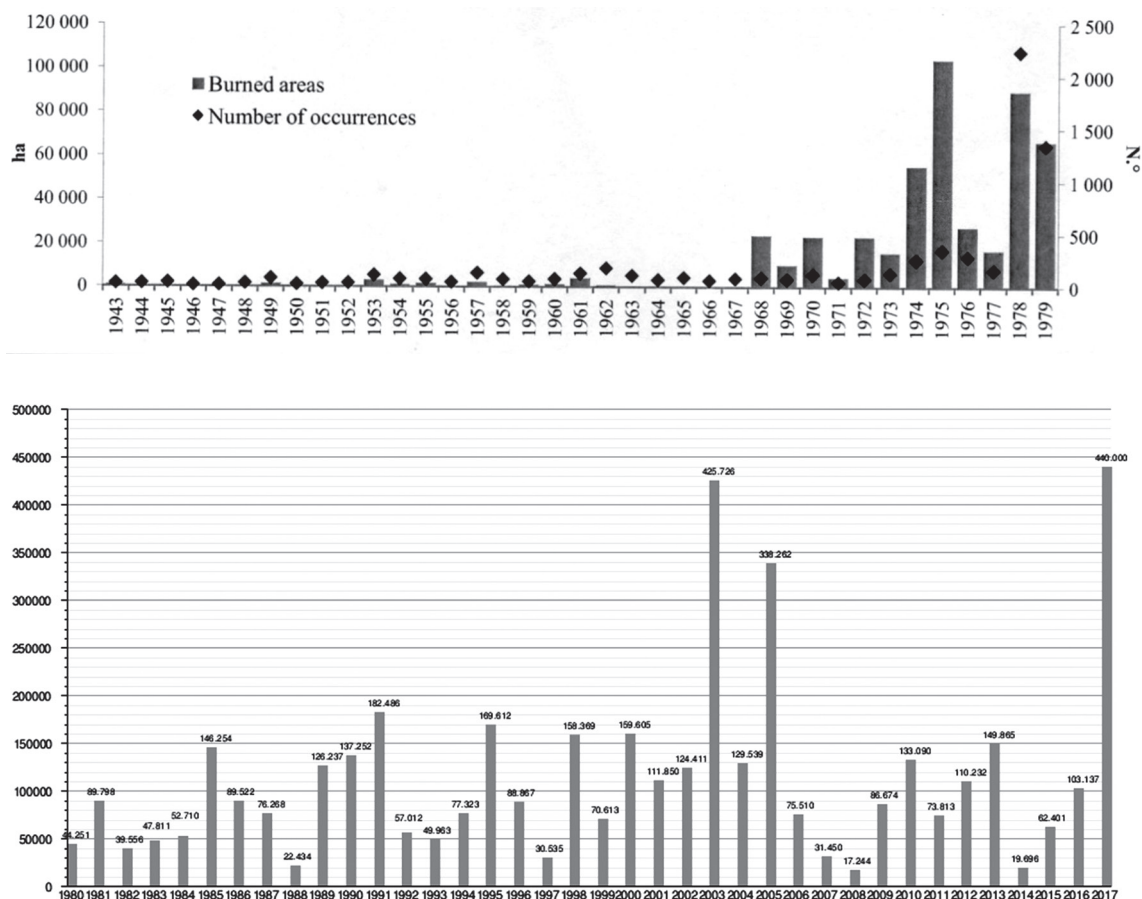


Fig. 10 - Superficie quemada (en has.) en Portugal (1943-2012) (Fuente: Gráfica superior: F. Ferreira-Leite, et al., 2013).

Fig. 10 - Burned area (in ha) in Portugal (1943-2012) (Source: Upper graph: F. Ferreira-Leite, et al., 2013).

has. (F. Ferreira-Leite, *et al.*, 2013). Esta singularidad portuguesa estaba indicando, posiblemente, que las masas combustibles - arbolado y matorral - tenían una mayor continuidad que el caso gallego, donde la fragmentación de la propiedad daba origen a un paisaje mucho más promiscuo y minifundista y, como consecuencia, a incendios individuales, menores.

Los años ochenta se caracterizan por un recrudescimiento de la onda incendiaria que en Galicia supera de nuevo por tres veces las barreras de las 100.000 has. anuales (1981, 1985 y, sobre todo, 1989 con el máximo hasta ahora alcanzado de las 205.000 has.). En Portugal, igualmente, se sobrepasan la barrera de las 100.000 has. y, sobre todo, el número de incendios se sitúa ya por encima de los 5.000. La década de los noventa, con el importante incremento que experimentan los medios de extinción en Galicia (se llegan a multiplicar por cinco los presupuestos dedicados a estos fines), trae como consecuencia que su superficie quemada se reduzca drásticamente con valores en general inferiores a las 20.000 has. anuales excepto algunos años que por las adversas condiciones meteorológicas (1995, 1998 y 2000) se aproximaron a las 50.000 has. Al mismo tiempo se mantiene todavía muy elevado el número de fuegos (entre 15.000 y 30.000).

Con el nuevo siglo la tendencia de fondo se mantiene, en Galicia sobre las 20.000-30.000 has. anuales quemadas y, en Portugal, sobre las 50.000-100.000 has., con años excepcionales como el 2006 para Galicia con 60.000 has. y para Portugal, el 2003 con 426.000 has. y el 2005, con 340.000 has. Finalmente, el año 2017, fue trágico para los dos países con 440.000 has. quemadas en Portugal y más de 50.000 has. en Galicia y con un triste balance de varias decenas de muertos.

Como consecuencia de este espectacular incremento de los incendios y de acuerdo con la importancia de

los factores técnicos que se fueron desarrollando en estos tiempos, los medios de extinción también fueron evolucionando rápidamente. De los medios rudimentarios y predominantemente manuales (fig. 9) que existían antes de los sesenta se pasó en pocas décadas a disponer de un impresionante arsenal de dispositivos técnicos y de coordinación, así como de unos presupuestos de decenas de millones de euros.

En España, los primeros cambios vinieron de la mano de las ayudas americanas como contrapartida a la instalación de las Bases, que permitieron la compra de varios camiones motobombas (en 1968 se disponía ya de 216 unidades) y, sobre todo, la primera aeronave contraincendios, un Canadiar CL-215 que se probó en Galicia en el año 1969. En los ochenta comienza la utilización de helicópteros para desplazamiento de brigadas aerotransportables así como los primeros ensayos de aplicación del fuego prescrito. En la década siguiente aparecen los sensores remotos para la detección de fuegos y sobre todo la revolución informática para el tratamiento y procesado de datos. La coordinación entre los recursos de las comunidades autónomas y del Estado que inicialmente tuvo bastantes problemas, pronto se fue encarrilando por la integración de los diferentes servicios y unidades en mandos únicos. La creación de las UME en el 2005 dentro de las fuerzas armadas supuso la disponibilidad de medios humanos con elevada preparación técnica y facilidades para su desplazamiento e integración en los operativos de extinción. Finalmente, el problema de la erosión del suelo como consecuencia de los incendios, que fue formulado científicamente en la década de los ochenta, a partir del año 2010 dio origen a medidas innovadoras de control postincendio de este proceso. Galicia, en todas estas acciones, con amplios recursos y medios y un personal bien curtido en la lucha y prevención de incendios, constituye en la actualidad una referencia dentro del Estado e incluso del área mediterránea.

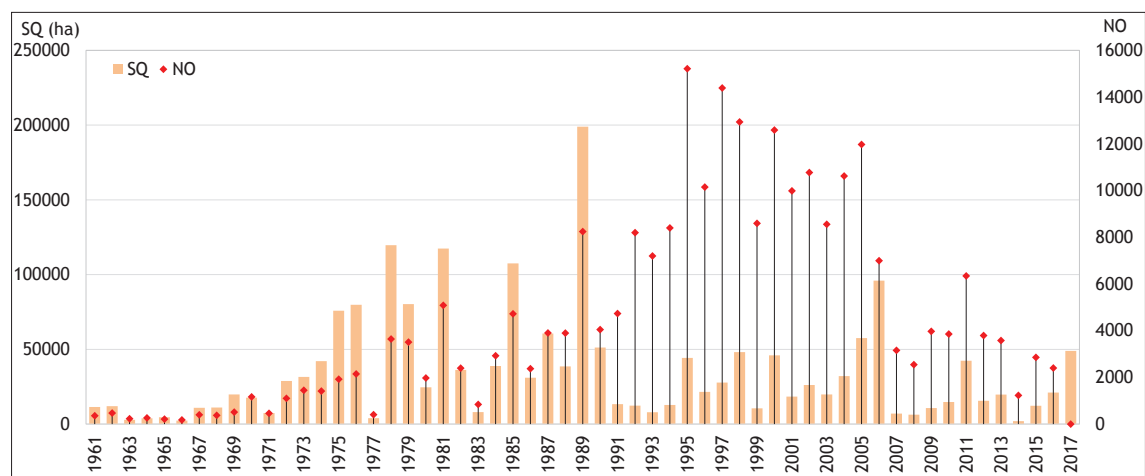


Fig. 11 - Evolución de la superficie quemada (SQ) en Galicia (1961-2017) (Fuente de los datos: Elaboración del autor a partir de diferentes fuentes).

Fig. 11 - Changes to the burned surface (SQ) in Galicia (1961-2017) (Data source: Author elaboration from different sources).

En Portugal, en la década de los sesenta la lucha contra el fuego que dependía fundamentalmente de los servicios forestales estableció unos *Principios Básicos de Luta contra Incendios* (redactados por Quintanilha, Silva e Moreira da Silva) que establecían las normas de un operativo moderno y actualizado de extinción y prevención, pero que la escasez de medios y, sobre todo, el marasmo administrativo en el que se cayó poco después, con la dispersión de los servicios de lucha contra el fuego entre diferentes instituciones (Bombeiros Voluntarios, Protección Civil, etc.) fue restando eficacia a las diferentes medidas que se fueron adoptando. En la actualidad después del revulsivo social y político que supuso la tragedia de los incendios de junio y octubre del 2017, se creó una comisión independiente de análisis y reflexión sobre lo sucedido y, sobre todo, con relación a las medidas que se deberían desarrollar en el futuro, que dio origen a un importante *Relatorio* (octubre del 2017) que puede ser, si se siguen sus recomendaciones, un punto de inflexión en la lucha contra los incendios.

Finalmente, otra característica importante de este período fue la repercusión social que fue adquiriendo el tema de los incendios forestales en la opinión pública galaico-portuguesa que pasó de ser una cuestión secundaria de la que solo se trataba circunstancialmente a figurar como asunto prioritario de los medios de comunicación. En Galicia, posiblemente la primera acción de toma de conciencia colectiva, fue promovida por la Coordinadora de Montes Comunais de Galicia, en 1977, con los ciclos de conferencias y manifiestos (como el del Ateneo de Ourense por el Comité de Defensa dos Montes Galegos, en 1978) (fig. 12). Después vendrían innumerables actuaciones de los más diversos colectivos ciudadanos e de sociedades ambientales y organismos científicos. En 1987, el Parlamento Gallego, después de la importante ola de incendios precedente, con tres años con más de 100.000 has. quemadas, elaboró un dictamen que contenía una serie de recomendaciones redactadas por una comisión técnica independiente y después de varios meses de comparecencias parlamentarias de los colectivos más implicados en el tema. Después de los incendios del 2006 el Parlamento Galego volvió a pronunciarse oficialmente sobre esta cuestión. El Consello da Cultura Galega organizó varias jornadas científicas, en el 2006, sobre “*Os incendios Forestais en Galicia*”, en el 2007, sobre “*Por unha nova cultura forestal fronte aos incendios*” y en enero de este año sobre “*Unha nova xeración de lunes?*”.

Las instituciones científicas y técnicas de Galicia y Portugal desarrollaron desde los años ochenta amplios y variados programas de investigación así como puestas en común en numerosas reuniones científico-técnicas que dieron origen a continuadas y fructíferas colaboraciones. En la actualidad se puede decir que la comunidad científico-técnica de los dos países tiene un pensamiento

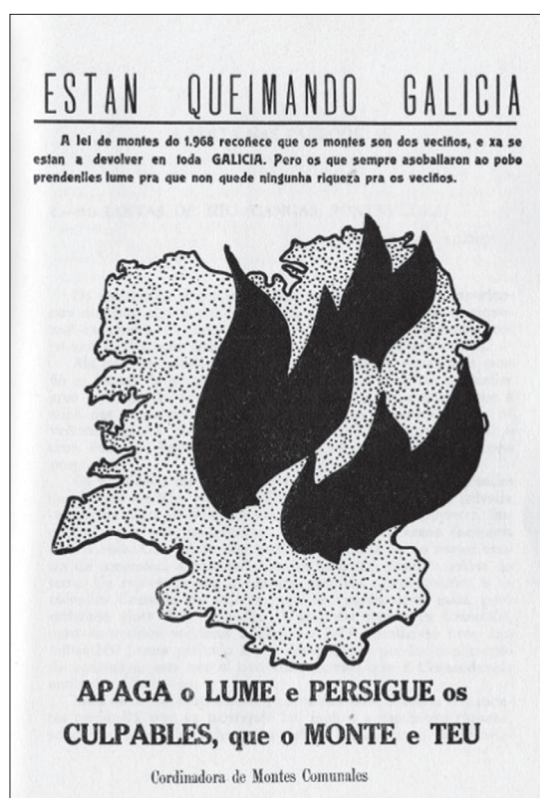


Fig. 12 - Cartel de propaganda de la campaña contra los incendios forestales de la Coordinadora de Montes Comunais de Galicia (1977) (Fuente: C.I.E.S. 1979).

Fig. 12 - Poster advertising the campaign against the forest fires of the Coordinator of Mountain Communities of Galicia (1977) (Source: C.I.E.S. 1979).

común sobre la problemática de los incendios forestales que, por otra parte, constituye una reconocida referencia en el contexto europeo.

De todas maneras, muchos de los temas formulados en las discusiones y reuniones de los años ochenta siguen todavía abiertos, sobre todo en la opinión pública, como son los relativos a las especies pirófilas (sobre todo el eucalipto) y su papel sobre el riesgo de incendios, medidas preventivas de política forestal, control del matorral, caracterización, persecución y castigo de los incendiarios, medidas de extinción, etc.

Una nueva generación de incendios?

Una importante investigación mediante satélite a escala mundial de los incendios forestales ocurridos entre los años 2003 y 2012 demostraba una incidencia importante con relación a épocas anteriores de los que tenían carácter de megaincendios por su amplia extensión y elevada intensidad (Bowman *et al.*, 2017). Por otra parte, un estudio recopilatorio norteamericano (Heyck-Williamns *et al.*, 2017) al mismo tiempo que dejaba constancia de una singular presencia de los grandes

incendios en los últimos tiempos detectaban también una tendencia a la ampliación del período con riesgo de incendios. En cambio J. San-Miguel-Ayanz, *et al.* (2013) no encuentra, en un importante estudio sobre el área europea mediterránea, que exista para el período 1980-2010 un incremento de los grandes incendios.

En Portugal (Ferreira-Leite *et al.*, 2013) en un análisis de los grandes incendios ocurridos en el período 2003-2012 contabilizaban 14 que definían como megaincendios por rebasar las 10.000 hectáreas, frecuencia que era muy superior a la contabilizada en la décadas ochenta y noventa del pasado siglo (fot. 1). En Galicia, los definidos como grandes incendios (superiores a las 500 hectáreas) experimentaron también una progresión creciente, de tal manera que la superficie quemada por ellos representaba el 10.6 % para el período 1991-2000, el 27.8 % para el 2001-2010 y el 38.2 % para el 2011-2017. En este último año se produce también el primer megaincendio (> 10.000 has.) de la historia de esta Comunidad.

Las causas que se le atribuyen a esta probable presencia creciente de los megaincendios se centran inicialmente en el cambio climático que según todos las predicciones nos llevarían a un incremento del riesgo de incendios como consecuencia, sobre todo, del aumento de la temperatura y, para determinadas zonas, como sería el área de clima mediterráneo, por una tendencia hacia mayores sequías. Estos cambios supondrían unas condiciones más favorables para la presencia de combustibles cada vez más secos e inflamables y unos fuegos más violentos e incontrolables.

Por otra parte se consideraron también las condiciones que podrían influir sobre una mayor acumulación de biomasa combustible. Por una parte, las causas socioeconómicas, tan decisivas para el territorio gallego-portugués, que influirían en el abandono del campo pero, por otra parte, también se especuló sobre la posibilidad de que la mayor eficacia de los medios de extinción que actuaban prioritariamente sobre los incendios de pequeño o medio tamaño pudieran estar favoreciendo una mayor abundancia de combustible en los terrenos forestales.

Y como otra característica de estos grandes incendios se señalaría la de una incidencia cada vez mayor y frecuente sobre las propiedades y las personas como consecuencia, sobre todo, de la ampliación en los últimos tiempos de la interfase urbano forestal (IUF). Para Galicia, Chas-Amil *et al.*, 2013 constataron que más de la mitad de la superficie edificada en los últimos tiempos se hizo sobre la IUF y que en ella la frecuencia de incendios es el doble que en las áreas no afectadas por la IUF. Esta singularidad, fruto de un urbanismo desordenado y descontrolado, tendría como consecuencia que los objetivos de los operativos de extinción derivasen cada vez más hacia una protección preferente de bienes y personas dejando como actividades secundarias las clásicas labores de contención de los fuegos forestales.

Estas cuestiones, nos llevarían a la pregunta fundamental que ya se formulan muchos expertos: Estamos delante de una nueva generación de incendios forestales? D. M. Bowman, *et al.* (2011) en el estudio que sirvió de marco conceptual a este trabajo considera que estaríamos entrando ya en la quinta fase pírca (E) en



Fot. 1 - Mega incendios en Portugal (2017) (Fuente: www.dnoticias.pt).

Photo 1 - Mega fires in Portugal (2017) (Source: www.dnoticias.pt).

la que el cambio climático y las modificaciones sobre el combustible serían sus características particulares. El español Marc Castellnou (2009), jefe de los GRAF catalanes plantea desde su particular formulación de las diferentes generaciones de incendios desde el año 1950, que estaríamos entrando ya en su sexta generación, con incendios con gran incidencia en la IUF, elevadas intensidades y en muchos casos, prácticamente incontrolables. Esta propuesta, que tuvo una gran repercusión mediática en España, tendría como causas más directas al cambio climático y a la acumulación desordenada de combustible algo que ya habían adelantado muchos expertos y que en la actualidad es objeto de un debate intenso en los medios académicos.

En cualquier caso, son unas expectativas que analizadas desde la perspectiva histórica que se acaba de describir y, sobre todo, por las proyecciones hacia el futuro con las que necesariamente se tiene que trabajar, deberían merecer nuestra mayor atención y preocupación.

Agradecimiento

Al profesor Luciano Lourenço de la Universidad de Coimbra por las sugerencias aportadas a este trabajo.

Bibliografía

- Areses, R. (1929). *Los incendios en los montes públicos*. Pontevedra, p. 29.
- Bauer, E. (1980). *Los montes de España en la Historia*. Ministerio de Agricultura. Madrid, p. 610 .
- Beiras, J.M. (1967). *El problema del desarrollo en la Galicia rural*. Ed. Galaxia. Vigo, p. 226.
- Boserup, E. (1967). *Las condiciones del desarrollo en la agricultura*. Ed. Tecnos. Madrid, p. 211.
- Bouhier, A. (1979). *La Galice: essai géographique d'analyse et d'interprétation d'un vieux complexe agraire*. Poitiers, p. 1516.
- Bowman, D. M., Balch, J., Artaxo, P., Bond, W. J., Cochrane, M. A., D'antonio, C. M., ... and Kull, C. A. (2011). The human dimension of fire regimes on Earth. *Journal of biogeography*, 38(12), 2223-2236.
- Bowman, D. M., Williamson, G. J., Abatzoglou, J. T., Kolden, C. A., Cochrane, M. A. and Smith, A. M. (2017). Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events. *Nature ecology & evolution*, 1(3), 0058. DOI: <http://doi.org/10.1038/541559-016-0058>
- Carrión, Y., Kaal, J., López-Sáez, J. A., López-Merino, L. and Martínez Cortizas, A. (2010). Holocene vegetation changes in NW Iberia revealed by anthracological and palynological records from a colluvial soil. *The Holocene*, 20(1), 53-66.
- Casals, V. (1988). Defensa y Ordenación del Bosque en España. Ciencia, Naturaleza y Sociedad en la obra de los Ingenieros de Montes durante el siglo XIX. *Geocrítica*, 73. Universidad de Barcelona. Barcelona.
- Casariago, E. (1950). *El Marqués de Sargadelos. Los comienzos del industrialismo capitalista en España*. IEA. Oviedo, p. 260.
- Castellnou, M. e Miralles, M. (2009). The changing face of wildfires. *CRISIS*, 5, 4, 56-57.
- Chas-Amil, M. L., Touza, J. y Garcia-Martinez, E. (2013). Forest fires in the wildland-urban interface: A spatial analysis of forest fragmentation and human impacts. *Appl. Geography*, 43, 127-137.
- C.I.E.S. *O monte é noso*. Ed. Galaxia, Vigo, 1979, p. 205.
- Connor, S. E., Araujo, J., van der Knaap, W. O y van Leeuwen, J. F.M. (2012). A long-term perspective on biomass burning in the Serra da Estrela. Portugal. *Quat. Sci. Rev.*, 55, 114-124.
- Devy-Vareta, N. (1999). Investigación sobre la Historia Forestal portuguesa en los siglos XIX y XX. Orientaciones y lagunas. *Historia Agraria*, 18, 57-94.
- Díaz-Fierros, F. (2006). *A cuestión ambiental en Galicia. Raíces dunda nova cultura (1750-1972)*. Ed. Galaxia. Vigo, p.369 .
- Fábregas, R., Fernández, C. e Ramil, P. (1997). La adopción de la economía productora en el noroeste ibérico. En *O Neolítico Atlántico e as orixes do Megalitismo*. (Ed. Rodríguez Casal, A.) Universidade de Santiago-Consello da Cultura Galega. Santiago, p. 859.
- Ferreira, T. (coord.) (2008). *História da população portuguesa. Das longas permanencias á conquista da modernidade*. Ed. Afrontamento. Porto, p. 584.
- Ferreira-Leite, F., Lourenço, L. e Bento-Gonçalves, A. (2013). Large forest fires in mainland Portugal, brief characterization. *Mediterranée*, 121, 53-65.
- Fontana Tarrats, J. M. (1977). *Historia del clima del Finis-Terrae Gallego*. Madrid (ed. fotocopiada), p. 127.
- Guitian Rivera, L. (1999). Los incendios forestales a través de la historia: Pervivencias y cambios en el uso del fuego en el noroeste peninsular. En *Incendios históricos. Una aproximación interdisciplinar*. (coord. Araque Jimenez, E.) Univ. Int. Andalucía. Beza, 1999, p. 426.
- Heyck-Wiliams, S., Anderson, L. e Stein, A. S. (2017). *Megafires. The Growing Risk to America's Forests. Communities, and Wildlife*. Nat. Wildlife Federation. Washington, p. 24.
- Ibañez, A. R., Marqués de Sargadelos (2009). *Discursos Ecómicos-Políticos sobre la restauración de los montes y plantíos en España (1802)*. Ed. Ocampo Suárez-Valdes, J. EIA- Xunta de Galicia, Oviedo, p. 190 .

- Iversen, J. (1956). Forest clearance in the stone age. *Scientific American*, 194, 36-41.
- Koutsias, N., Allgöwer, B., Kalabokidis, K., Mallinis, G., Balatsos, P., & Goldammer, J. G. (2015). Fire occurrence zoning from local to global scale in the European Mediterranean basin: implications for multi-scale fire management and policy. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(2), 195-204.
- Lobo Alves, A. (coord.) (2003). *O abandono da actividade agrícola*. Ministerio de Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Lisboa, p. 104.
- Martinez-Cortizas, A. e Costa-Casais, M. (2016). A paisaxe: síntese da historia ambiental e cultural. En *Atlas arqueolóxico da paisaxe galega*. Eds.: Criado, F., Parceros, C., Otero, C. e Cabrejas, E. Ed. Xerais. Vigo, p. 336.
- Molina, F. (1979). Produción e Ecoloxía no monte galego. *Rev. Est. Agrarios*, 2, 33 -75
- Monteiro, A., Devy-Vareta, N. Oliveira, A e Santos, J. (2006). A Floresta e o fogo Através dos Tempos. En *A Floresta e os Incêndios em Portugal*. (Coords.: Santos, J., Cardoso, J., Castro, F., Neves, J. e Pereira, T.) Instituto Superior de Agronomía. ISAPress. Lisboa, 2006.
- Pausas, J. G. e Keeley, J. E. (2009). A burning story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience*, 59, 593-601.
- Payne, S. (1997). *Vestal Fire. An Environmental History, Told through Fire, of Europe and Europe Encounter with the World*. Univ. Washington Press, Seattle and London, p. 672.
- Pechony, O., Shindell, D. T. (2010). Driving forces of global wildfires over the past millenium and the forthcoming century. *PNAS*, 107, 45, 19167-1970.
- Ruiz Zorrilla, P. (1980). Notas para una Historia del Pino en Galicia. En *El monte en Galicia. Fuentes para su estudio*. (Eds. Olga Gallego et al.). Ministerio de Cultura. Madrid, p. 192.
- San-Miguel-Ayanz, J., Moreno, J. M. y Camia, A. (2013). Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *Forest Ecol. Manag.*, 294, 11-22.
- Van Mourik, J. M. (1986). *Pollen profiles of slope deposits in the Galician área (N.W. Spain)*. Nederlandse Geografische Studies. Amsterdam, p.171.
- Velez, R. (2015) Breve (e incompleta) historia de las aportaciones técnicas de los Ingenieros de Montes contra incendios forestales en los pasados 60 años . Power point (14 de marzo de 2015). 01_RVelez.pdf - Adobe Reader.
- Villares, R. (coord.) (1980). *Historia de Galiza*. Caixa de Aforros de Galicia. Ed. Alhambra. Madrid, p. 291.

INCENDIOS FORESTALES EN ESPACIOS DE FRONTERA.
ANÁLISIS DE PATRONES ESPACIALES EN PAISAJES DE MONTAÑA DE LA RAYA CENTRAL HISPANO-LUSA*

115

FOREST FIRES IN BORDER AREAS.
ANALYSIS OF SPACE PATTERNS IN MOUNTAIN LANDSCAPES OF THE HISPANO-LUSA CENTRAL BORDER

Rocio Blas

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura (Espanha)
ORCID 0000-0001-5688-5125 rblas@unex.es

Luciano Lourenço

Departamento de Geografia e Turismo, NICIF, CEGOT e RISCOS
Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra (Portugal)
ORCID 0000-0002-2017-0854 luciano@uc.pt

RESUMEN

En este trabajo se han analizado los patrones de ocurrencia de incendios forestales en los paisajes de montaña de la Raya Central Hispano-Lusa. Espacios de frontera donde se conjugan factores físicos similares y sistemas de poblamiento, económicos y de gestión de los bosques diferenciados. La metodología se ha centrado en los puntos de ignición, a través de un análisis de agrupamiento (*Grouping Analysis*) se ha obtenido una clasificación del territorio en cuatro grupos bien diferenciados en función de diferentes combinaciones entre el número de incendios y la superficie quemada. Este análisis revela la existencia de patrones que traspasan las fronteras administrativas y agrupan bajo un mismo conglomerado a entidades de uno y otro lado. Los resultados ponen de manifiesto la vulnerabilidad de los espacios de montaña ante el riesgo de incendio, principalmente por su predisposición física, pero también por los procesos demográficos y económicos que generan escenarios similares y relativizan factores como los usos del suelo o la gestión forestal, muy diversa y hasta divergente en uno u otro lado de la frontera.

Palabras clave: Incendios forestales, montaña, frontera, estadística espacial, patrones.

ABSTRACT

In this study we analysed the forest fire patterns in the mountain landscapes of the Central Hispano-Lusa border. The methodology focused on analysis of the ignition points. Grouping analysis was used to obtain a classification of the territory into four distinct groups. These groups are differentiated in terms of the combination of the number of fires and the burned area. This analysis shows that there are patterns that cross administrative boundaries. Clusters are formed with authorities on either side of the border. The results show the vulnerability of mountain areas to fire risk, mainly due to their physical predisposition, but also due to the demographic and economic processes that generate similar scenarios. In these scenarios very diverse and even divergent factors on either side of the border, such as land uses or forest management, become relative.

Keywords: Forest fires, mountain, border, spatial statistics, patterns.

* O texto deste artigo foi submetido em 07-08-2018, sujeito a revisão por pares a 18-09-2018 e aceite para publicação em 05-11-2018.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 26 (I), 2019, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introducción

La presencia del fuego en la Cuenca Mediterránea se refleja en la existencia de una serie de regímenes del fuego en los que los procesos fenológicos y la frecuencia, extensión o intensidad del fuego guardan un estrecho equilibrio (J.K. Agee, 1993, J. Pausas, 2012, J.E. Keeley, 2012). Cualquier variación en esta interrelación supone un aumento de la vulnerabilidad del espacio forestal (IPCC, 2007). Actualmente diferentes procesos de cambio están propiciando la aparición de regímenes del fuego alterados, con mayor frecuencia, extensión o intensidad que superan la capacidad de adaptación y ponen en grave peligro la biodiversidad de estos ecosistemas. Los principales cambios del área de estudio están relacionados con la pérdida de población, el abandono de tierras labradas, el descenso de la cabaña ganadera y la acumulación y continuidad del combustible forestal.

Según la estadística de incendios Forestales que proporciona EFFIS (Forest Fire Information System, EFFIS 2011, 2012 y 2013), en los países de la Europa Mediterránea (España, Francia, Italia, Portugal y Grecia) se registra una media de casi 50 000 incendios forestales anuales, que arrasaron una superficie media de 463 000 ha al año.

En cuanto a la evolución del número de incendios en esta área se percibe en los últimos años una tendencia a la baja, después de alcanzar máximos históricos en la década de los noventa y primeros años del siglo XXI, momento en el que en España se triplicó el número de incendios y en Portugal se multiplicó por diez.

La tendencia ascendente en el número de incendios en España y Portugal, que llega a alcanzar más de 25 000 y 35 000 siniestros anuales respectivamente, muestra, no obstante, una desaceleración desde 2005. Aunque estos últimos datos son alentadores, es todavía prematuro afirmar un cambio de tendencia general, puesto que al igual que sucede en el resto de la serie, dependen fundamentalmente de las condiciones climáticas.

El objetivo principal de este estudio ha sido el análisis de la ocurrencia de incendios forestales en los paisajes de montaña de la Raya Central Hispano-Lusa. Espacios de frontera donde se conjugan factores físicos similares y sistemas de poblamiento, económicos y de gestión de los bosques diferenciados. Los binomios Sierra de Gata - Serra de Malcata y Sierra de San Pedro - Serra de São Mamede a un lado y otro de la frontera son los enclaves analizados en detalle.

Con el fin de analizar los patrones de ocurrencia de incendios forestales en las montañas de la Raya Central Hispano-Lusa se empleó una metodología centrada en el análisis de la densidad e incidencia de los incendios registrados en las estadísticas disponibles. La puesta en común de ambas estadísticas de incendios forestales y la generación de un mapa continuo de puntos de ignición

de incendios forestales a través de la frontera constituye en sí uno de los resultados de los trabajos, puesto que ha supuesto unificar no solo dos fuentes estadísticas, sino también cartográficas.

La identificación de patrones se ha realizado en los espacios montañosos de frontera a través de técnicas de análisis espacial, las cuales permiten evaluar la existencia y naturaleza de los patrones de distribución de la ocurrencia de los incendios forestales (J. Yang *et al.*, 2007; K. Han-Bin *et al.*, 2007; S. A. Drury y T. T. Veblen, 2008; L. Galiana, 2009; G. Pérez-Verdín, 2013 y V. Gajović *et al.*, 2013).

Material y Métodos

La Raya Central Hispano-Lusa (fig. 1) está constituida por tres provincias españolas (Salamanca, Cáceres y Badajoz) y tres distritos portugueses (Guarda, Castelo Branco y Portalegre). Al ser un espacio transfronterizo, la diversidad en la delimitación de límites administrativos se ha solventado utilizando los límites municipales en España y la delimitación de las freguesías en Portugal (en cierto modo equivalentes a las parroquias españolas) como unidades espaciales. La escala de trabajo en el estudio de casos ha requerido identificar las unidades administrativas de menor tamaño posible, siendo éstas las delimitaciones que territorialmente, no administrativamente, se pueden considerar homólogas, con superficies y configuración similares.

El estudio se ha centrado en los espacios de montaña de esta Raya Central Hispano-Lusa, en concreto en los binomios Sierra de Gata-Serra de Malcata y Sierra de San Pedro-Serra de São Mamede.

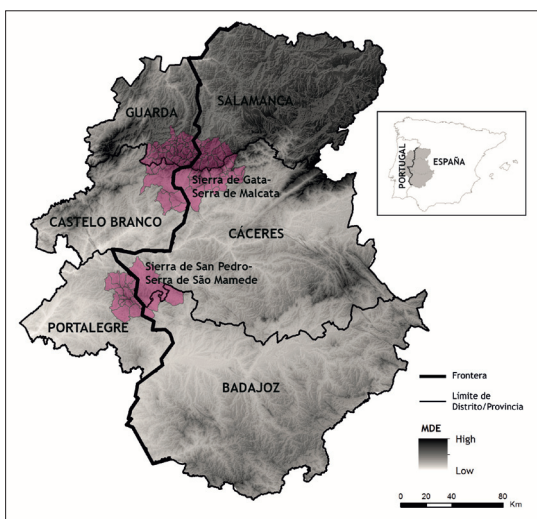


Fig. 1 - Área de estudio: Raya Central Hispano-Lusa (MDE: Modelo Digital de Elevaciones).

Fig. 1 - Location of the study area (MDE: Digital Elevation Model).

La Sierra de Gata - Serra de Malcata se localiza entre las provincias de Salamanca y Cáceres y los distritos de Guarda y Castelo Branco, integrando el sector occidental del Sistema Central. Por su parte la Sierra de San Pedro - Serra de São Mamede constituyen las estribaciones de los Montes de Toledo, y se localizan respectivamente entre las provincias de Cáceres y Badajoz y en el distrito de Portalegre.

La delimitación de las unidades municipales que integran estos paisajes fronterizos de media y baja montaña respectivamente han sido principalmente factores físicos, pero también administrativos: alcanzar 600 o 500 m de altitud, en función del sistema montañosos analizado, cambio altitudinal de más de 300 metros, pendientes de más de 5° (9 % aprox.) y localizados a menos de 25 km de la línea fronteriza (ambos sentidos).

La delimitación de estas características define 97 municipios/freguesías de la Raya Central Hispano-Lusa, constituyendo los casos de estudios en el análisis de la incidencia de incendios en los paisajes de montaña transfronterizos. Estos dos espacios se configuran con 65 freguesías (16 de Portalegre, 40 de Guarda y 9 de Castelo Branco) y 32 municipios (11 de Salamanca, 19 de Cáceres y 2 de Badajoz).

La metodología utilizada se ha fundamentado en el análisis de las series históricas de incendios forestales a uno y otro lado de la frontera, análisis abordados por separado por los autores (L. Lourenço, 2012, R. Blas, 2011), sin embargo no puestos en común, hasta el momento, de forma conjunta. Para ello, una de las principales tareas ha sido la creación de una serie estadística y cartográficamente unificada. La serie analizada en este estudio ha sido elaborada en el año 2016, durante la colaboración entre Departamento de Arte y Ciencias del Territorio de la Universidad de Extremadura y el Departamento de Geografía e Turismo de la Universidade de Coimbra, por ello la disponibilidad de datos se centra en el período 2000-2013. Posteriormente se ha analizado la distribución espacial de la densidad e incidencia de los incendios forestales. El estudio de casos se ha centrado en la identificación de patrones espaciales de la ocurrencia de incendios forestales en los paisajes de esta zona transfronteriza. El uso de tecnologías de información geográfica ha permitido aplicar técnicas de agrupamiento espacial, con las que se analizan no sólo los parámetros estadísticos, sino también su distribución espacial a través de relaciones de vecindad. El *análisis de punto caliente* y el *de agrupamiento* han sido las técnicas geoestadísticas empleadas para ello.

Creación de serie histórica y cartografía unificada

Una vez delimitada y caracterizada la zona de estudio se procedió a recopilar y unificar la información estadística y cartográfica sobre la ocurrencia de

incendios forestales, tanto en la zona de estudio, como en los sistemas analizados (Sierra de Gata-Serra de Malcata y Sierra de San Pedro-Serra de São Mamede).

El Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) del Gobierno de España, a través de la Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal configura la Estadística General de Incendios Forestales (EGIF) desde el año 1968, en el que la LEY 81/1968, de 5 de diciembre, sobre Incendios Forestales, introdujo la recogida sistemática y normalizada de los datos referentes a cualquier conato o incendio forestal que se produjera en el territorio español. Esta base de datos está configurada por la información recogida en los Partes de Incendios Forestales, en los que se recogen los datos del incendio, así como, desde 1998, las coordenadas del punto de ignición.

En Portugal, el área de Defesa da Floresta Contra Incêndios del Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) proporciona información detallada para el análisis de la evolución y distribución de los incendios.

El proceso de recopilación de los datos y la disponibilidad de los mismos varía entre ambos países, mientras que en Portugal el acceso y descarga de los datos y cartografía es abierta a través del portal del ICNF (<http://www.icnf.pt>), en España se requiere un proceso de registro de la solicitud y aprobación del acceso a los datos. Sin embargo, las restricciones en el acceso del caso español permiten finalmente acceder a una base de datos relacional en formato Microsoft Access con la Estadística General de Incendios Forestales (EGIF) completa y unificada, lo que difieren sustancialmente de las tablas por periodos bianuales en formato Microsoft Excel que facilita el ICNF.

Por lo tanto, los procesos de la integración de los datos y la elaboración de una serie histórica unificada han supuesto toda una serie de transformaciones de formatos y unión de tablas.

La información alfanumérica disponible en cada una de las estadísticas también es variable, pudiendo unificar los siguientes atributos para la mayoría de los registros: identificador único, país, código, provincia/distrito, municipio, freguesía (solo en Portugal), coordenada X, coordenada Y, superficie arbolada quemada, superficie no arbolada quemada y la superficie total forestal quemada.

En cuanto a la base cartográfica, existen también diferentes realidades a ambos lados de la frontera. En Portugal se encuentra disponible la cartografía de los perímetros de áreas incendiadas mayores de 10 ha que facilita el ICNF en formato 'shapefile' y de forma conjunta para el periodo 2000-2008 y anualmente hasta 2013, en el momento de la toma de datos. En cambio, en España la cartografía de perímetros de incendios forestales no está

normalizada, en Extremadura (provincias de Cáceres y Badajoz) existe una base cartografiada de perímetros de incendios mayores de 300 ha, elaborada en parte por el Servicio de Lucha y Prevención de Incendios Forestales de la Junta de Extremadura (Plan INFOEX) y por el Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial (DESOSTE). La provincia de Salamanca, por su parte, carece de este tipo de recursos cartográficos.

Teniendo en cuenta las limitaciones que presenta la cartografía de perímetros, se ha optado por elaborar una cartografía de ocurrencia de incendios mediante las coordenadas reflejadas en las diferentes estadísticas, pertenecientes en el caso español a los puntos de ignición, y en el caso portugués a la freguesía afectada o al punto de ignición. Las limitaciones en la exactitud de las coordenadas del punto de ignición, en ocasiones referenciado a núcleos de población o al centroide de la unidad administrativa, no ha posibilitado el análisis puntual de los datos.

Esta cartografía puntual, del año 2000 al 2013, cuenta con la ventaja de que permite reflejar todo el área de estudio y un mayor número de siniestros que los cartografiados en los perímetros (15 325 puntos de ocurrencia de incendios mayores de 1 ha en la cartografía de puntos, frente a las 8 076 áreas mayores de 10 ha de la cartografía de perímetros), aunque cuenta con la limitación de no poder aumentar el análisis a una escala mayor de la que impone la delimitación de las freguesías.

Este proceso se ha fundamentado en la recopilación de cartografía de límites administrativos de uno y otro lado de la frontera y en su integración mediante procesos de transformación de proyecciones y ajuste de polígonos espúreos ('slivers'), como resultado se han obtenido varias cartografías unificadas en el sistema de referencia ETRS89 Huso 29: cartografía de distritos y provincias, y cartografía de municipios españoles y freguesías portuguesas.

El proceso final ha sido la obtención de los datos y estadísticas de incendios correspondientes a cada unidad administrativa. Se ha calculado la densidad, o sea, el número de incendios por hectárea, y la incidencia, que corresponde a la superficie quemada por hectárea, valores que han supuesto la base del análisis geoestadístico.

Análisis de punto caliente, 'Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi)'*

El análisis de punto caliente permite identificar agrupaciones de entidades espaciales donde los valores de densidad e incidencia de los incendios forestales, para una entidad dada y su vecindad, se sitúan por encima o por debajo de la desviación estándar, obteniendo así puntos calientes ('Hot Spot') o puntos fríos, es decir agrupamientos con municipios y/o freguesías con valores altos, rodeados de entidades también con valores altos, o viceversa.

Este análisis, aplicado a través de la herramienta 'Hot Spot Analysis' del software ArcGIS de ESRI, calcula el estadístico G_i^* de Getis-Ord (A. Getis y J. K. Ord, 1992), para cada entidad espacial, a partir de un conjunto de datos ponderados asociados a ellas. Esta herramienta funciona examinando el valor de la variable dentro del contexto de sus entidades vecinas; si el valor de una función es alto y los valores de sus vecinos son también altos, ésta se identifica como parte de un punto caliente. Las puntuaciones z (desviaciones estándar) y los valores p (probabilidad) resultantes indican dónde se agrupan espacialmente las entidades con valores altos o bajos. Una entidad con un valor alto no necesariamente es un punto caliente estadísticamente significativo, pues para ello una entidad debe tener un valor alto y también estar rodeada por otras entidades con valores altos. La suma local para una entidad y sus vecinos se compara proporcionalmente con la suma de todas las entidades; cuando la suma local es muy diferente de la esperada y esa diferencia es demasiado grande como para ser el resultado de un proceso aleatorio, se obtiene como consecuencia una puntuación z estadísticamente significativa (por encima de 0,10), o sea, un punto caliente (ArcGIS Resource Center, 2015).

Análisis de agrupamiento / 'Grouping Analysis'

Esta herramienta analiza las entidades espaciales y sus características localizando agrupaciones/conglomerados naturales en los datos y cartografiando la asignación de cada entidad a uno de los grupos identificados. Para ello es necesario identificar el número de grupos que se pretendan crear y las restricciones espaciales que tienen que cumplir los conglomerados. El algoritmo genera una serie de agrupamientos en los que todas las entidades, dentro de cada grupo, sean lo más parecidas posibles, y en los que los grupos sean lo más diferentes posibles entre sí. La similitud de las entidades se basa en el conjunto de atributos y en las restricciones espaciales establecidas.

Cuando se especifican restricciones espaciales ('contiguity edges only', 'contiguity edges corners', 'delanay triangulation', matriz de pesos espaciales, etc.), el algoritmo usa un gráfico de conectividad (árbol de expansión mínima) para encontrar agrupaciones naturales (ArcGIS Resource Center, 2015). Por el contrario, cuando no se especifican restricciones espaciales se utiliza un algoritmo de valores medios K (' K -means'), en el que las entidades en el mismo grupo tienen una relación de proximidad y cada entidad es vecina de por lo menos otra entidad en el grupo. Las relaciones de vecino más cercano se basan en un valor entero (K), que identifica la cantidad de vecinos a analizar, siendo éste por defecto 8 vecinos (ArcGIS Resource Center, 2015).

El análisis genera una nueva capa con la asignación de cada entidad a agrupaciones/conglomerados y un

informe analítico de los mismos, en el que se incluyen la estadística básica, el valor R^2 y diferentes gráficos de cajas. Los valores R^2 más elevados indican que la variable divide las entidades en agrupaciones/conglomerados de forma más eficaz, cuanto más alto sea el valor R^2 mejor es la variable en la discriminación entre entidades.

Resultados y discusión

Uno de los resultados más destacados de este estudio es la obtención de un mapa continuo de incendios forestales en el área de estudio: la Raya Central Hispano-Lusa. Se ha unificado la cartografía de 15 325 puntos de ocurrencia de incendios mayores de 1 ha, ocurridos entre el año 2000 y 2013 (fig. 2). Estos datos a su vez han constituido la base para una serie de mapas de diagnóstico basados en delimitaciones administrativas; la densidad y la incidencia de incendios forestales por municipio/freguesía.

La densidad de los incendios forestales en el área de estudio presenta una distribución con dos claros polos: el distrito de Guarda (Portugal) y el norte la provincia de Cáceres (España), con valores extremos respectivamente en Fornos de Algôdres, Celorico da Beira, Gouveia, Meda y Figueira de Castelo Rodrigo, en el distrito de Guarda, y Aldeanueva de la Vera y Cuacos de Yuste, en la comarca de la Vera, y Navaconcejo y Piornal, en el Valle del Ambroz en la provincia de Cáceres. Por otra parte, se observan densidades medias en el distrito de Castelo Branco y en el Sistema Central Cacereño.

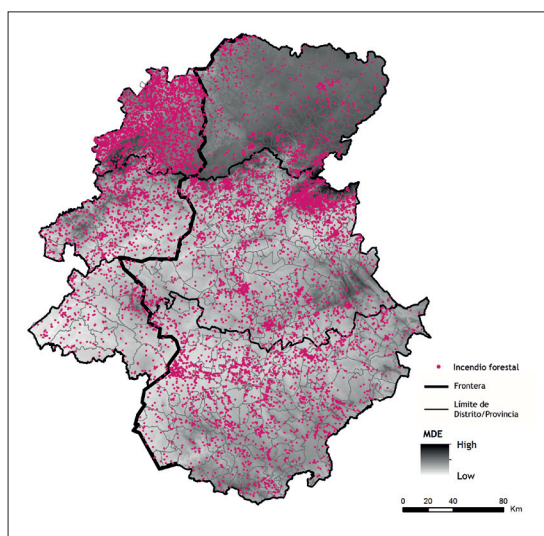


Fig. 2 - Cartografía de incendios forestales (> 1 ha) de la Raya Central Hispano-Lusa (2000 a 2013) (MDE: Modelo Digital de Elevaciones).

Fig. 2 - Cartography of forest fires (> 1 ha) of the Central Hispano-Lusa Border (2000 to 2013) (MDE: Digital Elevation Model).

La incidencia de incendios muestra el porcentaje de superficie quemada acumulada en cada uno de los municipios, respecto a la superficie total. Más de una decena de municipios registra valores por encima del 50%, es decir, que el fuego ha afectado a una superficie equivalente a más de la mitad de la extensión del término municipal: a) Cañamero y Pinofranqueado, en la provincia de Cáceres, y Agallas, en Salamanca; b) Oleiros, Sertã y Vila de Rei, en el distrito de Guarda, Fornos de Algodres, Gouveia, Seia, Guarda y Trancoso, en el distrito de Castelo Branco, y Gavião, en el distrito de Portalegre (fig. 3).

El análisis de casos, centrado en los 97 municipios/freguesías que configuran los sistemas de Sierra Gata - Serra de Malcata y Sierra de San Pedro - Serra de São Mamede, revela un comportamiento antagónico en ambas zonas respecto a la densidad e intensidad de incendios forestales.

Los resultados del análisis de puntos calientes y fríos significativos espacialmente, es decir, agrupaciones que se alejan de la desviación estándar de los valores de su vecindad tanto por encima como por debajo, muestran la localización de las zonas con alta concentración de incendios ('hot spot') en el sistema de Sierra Gata - Serra de Malcata, concretamente entre Valverde del Fresno (provincia de Cáceres) y Penamacor (distrito de Guarda) y puntos fríos en los municipios de Salamanca y del distrito de Portalegre (fig. 4).

En cambio, la incidencia de incendios forestales, es decir el porcentaje de superficie quemada, muestra un conglomerado de puntos calientes en el sistema de Sierra de San Pedro - Serra de São Mamede (fig 4), con especial incidencia en Valencia de Alcántara (provincia de Cáceres) y en Beirã y Santo António das Areias (en el municipio de Marvão, del distrito de Portalegre). Este punto caliente tiene su explicación en el gran incendio forestal que arrasó en 2003 gran parte de esta zona transfronteriza, un incendio que se inició en Portugal, con gran parte de su recorrido por España y que volvió a adentrarse en Portugal por Marvão.

Se identifican así dos agrupamientos significativos; una zona de altas densidades y una zona de alta incidencia. También es muy claro un conglomerado de punto frío de los municipios de Salamanca, tanto en la densidad como en la incidencia.

Finalmente, el resultado del análisis de agrupamiento ('Grouping Analysis') establece cuatro grupos representativos que concretan los resultados del análisis anterior (fig. 5): 1) baja densidad - baja incidencia, 2) alta densidad - media incidencia, 3) media densidad - alta incidencia y 4) alta densidad - alta incidencia.

Los grupos 1 y 3 no tienen una componente espacial significativa, siendo los de baja densidad e incidencia

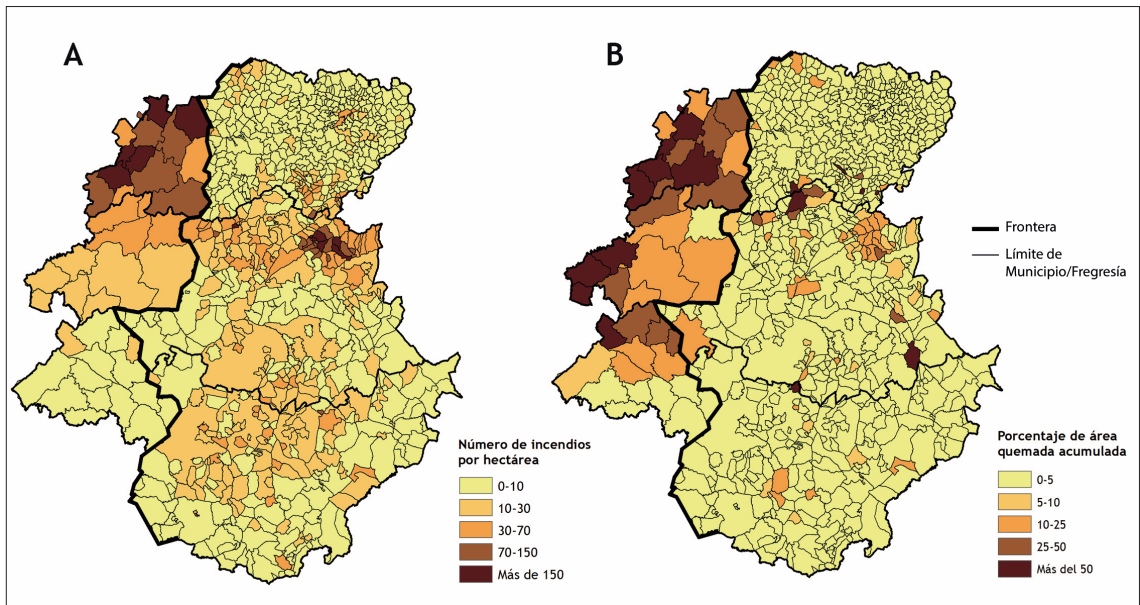


Fig. 3 - Densidad (A) e incidencia (B) de incendios forestales por municipio, entre 2000 y 2013.
Fig. 3 - Density (A) and incidence (B) of forest fires by municipality, between 2000 and 2013.

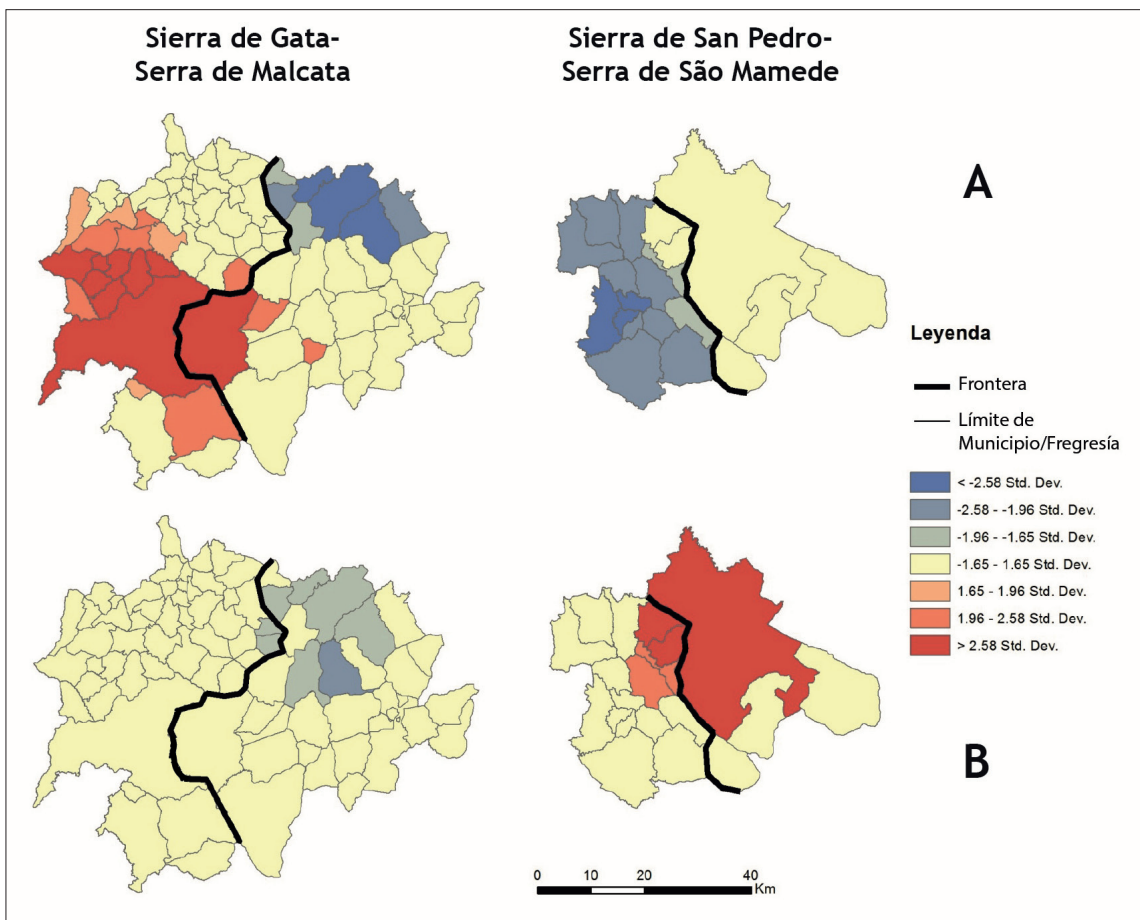


Fig. 4 - Análisis de punto caliente: A- Densidad (nº incendios/ha); B- Incidencia (% superficie quemada acumulada), entre 2000 y 2013.
Fig. 4 - Hot Spot Analysis: A- Density (number of fires/ha); B- Incidence (cumulative % of burnt area), between 2000 and 2013.

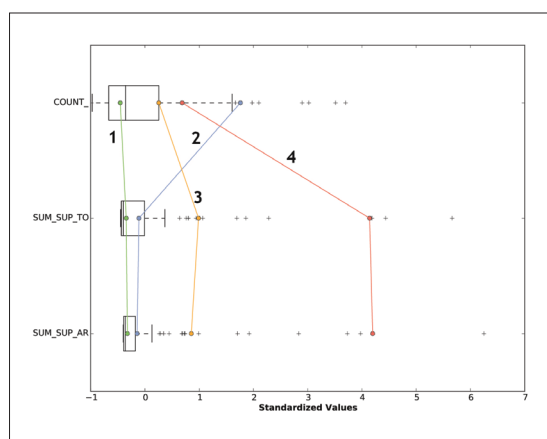


Fig. 5 - Diagrama de cajas paralelo. Análisis de agrupamiento.

Fig. 5 - Parallel boxplot. Grouping Analysis.

los más numerosos, con los valores medios. Los municipios/freguesías del grupo 3 son los menos representados y se distribuyen de forma aleatoria. Sin embargo, se destacan los grupos 2 y 4, no sólo por representar comportamientos más extremos, sino por configurar dos agrupamientos espaciales que confirman la existencia de dos patrones transfronterizos de

incendios forestales en los paisajes de montaña de la Raya Central Hispano-Lusa: el patrón de alta densidad y media incidencia del sistema de Sierra Gata - Serra de Malcata y el patrón de densidad media y alta incidencia en el sistema de Sierra de San Pedro - Serra de de São Mamede (fig. 6).

Estos resultados nos muestran dos comportamientos diferentes pero con resultados similares: regímenes del fuego alterados. Alteraciones debidas al aumento de la frecuencia en Sierra Gata - Serra de Malcata, donde la pérdida de población y el descenso de la cabaña ganadera han sido dos factores de cambio decisivos, a lo que hay que añadir las causas de incendios forestales negligentes e intencionadas con fines madereros. Por otro lado, en el sistema de media montaña, Sierra de San Pedro - Serra de de São Mamede, las alteraciones se corresponden con un aumento significativo de la extensión. La continuidad del combustible forestal tanto de forma horizontal, con matorrales, como vertical, con matorrales bajo arbolado, junto con condicionantes meteorológicos extremos (más de 30 °C, vientos de más de 30 km/h y humedad relativa por debajo del 30 %) son los claros desencadenantes del Gran Incendio Forestal de agosto de 2003 que afectó a este espacio transfronterizo y que supuso un drástico cambio de su régimen.

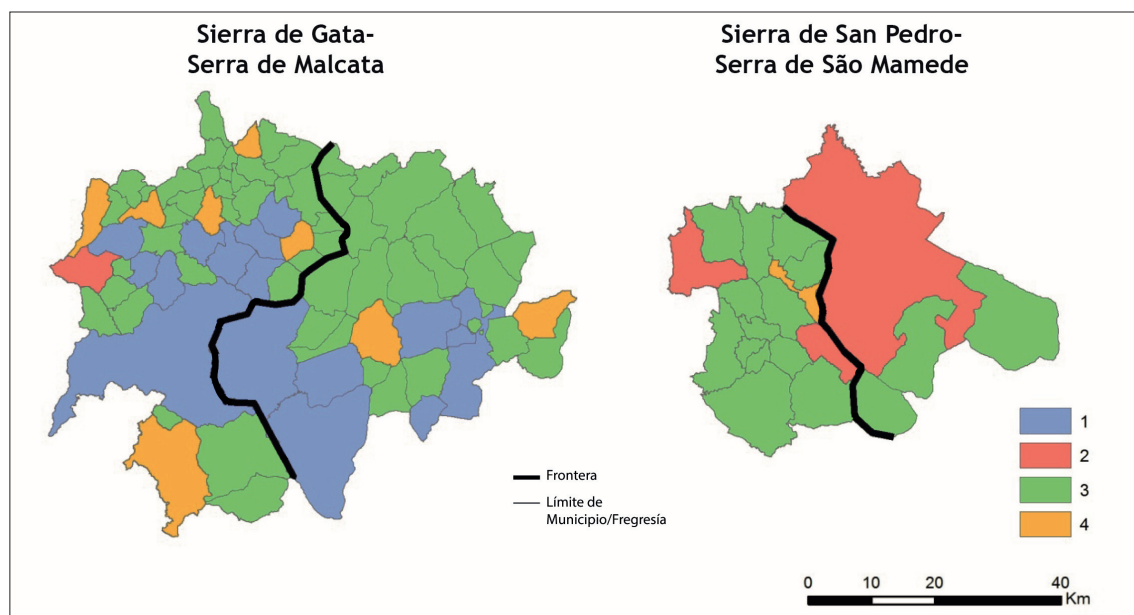


Fig. 6 - Análisis de agrupamiento. Grupo 1: baja densidad - baja incidencia; Grupo 2: alta densidad - media incidencia; Grupo 3: media densidad - alta incidencia; Grupo 4: alta densidad - alta incidencia.

Fig. 6 - Grouping Analysis. Group 1: low density - low incidence; Group 2: high density - average incidence; Group 3: medium density - high incidence; Group 4: high density - high incidence.

Conclusiones

Los análisis realizados confirman la existencia de patrones espaciales de incendios forestales en áreas

de montaña transfronterizas de la Raya Hispano-Lusa. Estos patrones se caracterizan por la alteración del equilibrio entre los procesos fenológicos y la frecuencia y extensión de los incendios forestales. Estos regímenes

alterados del fuego, con una mayor densidad o incidencia de incendios, ponen en grave peligro la biodiversidad de estos ecosistemas y suponen un aumento de la vulnerabilidad del espacio forestal.

Se demuestra además que estas alteraciones no entienden de fronteras administrativas, puesto que los patrones espaciales alterados constituyen agrupamientos que incluyen municipios y freguesias de ambos lados de la Raya. Esto indica que los procesos de cambio que han dado lugar a este tipo de alteraciones son comunes a estos espacios de montaña; la pérdida de población, el abandono de tierras labradas, el descenso de la cabaña ganadera, la acumulación y continuidad del combustible forestal, entre otros, son algunos de los factores que definen estos paisajes.

Las técnicas de análisis espacial utilizadas han sido capaces de establecer patrones y comportamientos similares en las entidades geográficas analizadas, aportando un punto de vista novedoso y enriquecedor, al incorporar la componente espacial a los análisis y obtener resultados que van más allá de los valores meramente estadísticos.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto el aumento de la vulnerabilidad de los espacios de montaña transfronterizos ante el riesgo de incendio. No solo por los condicionantes físicos, sino cada vez más por procesos demográficos, económicos y territoriales que generan escenarios similares a ambos lados de la frontera y relativizan factores como los usos del suelo o la gestión forestal, muy diversa y hasta divergente en uno u otro lado. Es por ello que las políticas de prevención y extinción de incendios de los países vecinos deben converger en estos espacios de interconexión. Las líneas de investigación futuras se centrarán en el análisis del contexto territorial y socioeconómico de ambos espacios, así como en el mantenimiento de la serie de datos transfronteriza unificada. El aumento del conocimiento sobre la evolución y distribución de los incendios, así como del estado de los montes, es esencial para reducir la vulnerabilidad de estos espacios donde tanto el número de incendios como la superficie quemada presentan valores alterados a ambos lados de una frontera naturalmente inexistente.

Referencias bibliográficas

Agee, J. K. (1993). *Fire ecology of Pacific Northwest forests*. Island Press, Washington, DC.

Arcgis Resource Center (2015). ArcGIS Desktop Help 10.1. Environmental Systems Research Institute (ESRI). Redlands, CA, USA, 2011. <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html> (acceso en septiembre de 2015).

Blas, R. (2011). *Los Incendios Forestales en Extremadura: Análisis Espacio-Temporal (1968-2005)*. Cáceres.

Drury, S. A. y Veblen, T. T. (2008). Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas Forestry Reserve, Durango, Mexico. *Plant Ecology* 197, 299-316.

EFFIS (2011, 2012 y 2013). Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa. *Annual Fire Reports*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.

Gajović, V. y Todorović, B. (2013). Spatial and temporal analysis of fires in Serbia for period 2000-2013. *Journal of the Geographical Institute, Jovan Cvijic, SASA*, Volume 63, Issue 3, 297-312.

Galiana, L. (2009). Caracterización de los Escenarios del Fuego en España. *5º Congreso Forestal Español*. Ávila.

Getis, A. y Ord J.K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis* 24.

Han-Bin, K., Woo-Kyun, L., Myoung-Soo, W., Kyo-Sang, K., Myung-Bo L., Sang Chu, L (2007). *Spatial and temporal pattern of the human-caused forest fire occurrences in Korea*. Department of Forest Environment, Korea Forest Research Institute. Korea University, Seoul, Korea.

IPCC (2007). Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. *Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge.

Keeley, J. E. (2012). *Fire in mediterranean ecosystems: ecology, evolution and management*. Cambridge University Press, Cambridge.

Lourenço, L., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Nunes, A., Ferreira-Leite, F. (2012). Forest Fires in Portugal. Portugal: Economic, Political and Social Issues, Edited by: Bento-Gonçalves, António José and Vieira, António Avelino Batista. *European Political, Economic, and Security Issues. Global Political Studies*. Hauppauge New York. Nova Science Publishers.

Pausas, J. (2012). *¿Qué sabemos de? Incendios Forestales*. CSIC, Madrid.

Pérez-Verdín, G., Y-S Kim, Hospodarski, D., y Teclé, A. (2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y bosques*, 19 (2), 37-58. Instituto de Ecología AC.

Yang, J., He, H. S., Shifley, S. R., & Gustafson, E. J. (2007). Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark highlands. *Forest Science* 53(1), 1-15.



RISCOS



INCÊNDIOS E ÁREAS ARDIDAS NOS ÚLTIMOS 25 ANOS NO DISTRITO DE BRAGANÇA, PORTUGAL: ANÁLISE E ESTIMATIVA DE CONSEQUÊNCIAS PARA O RECURSO SOLO*

123

FIRE OCCURRENCES IN THE LAST 25 YEARS IN BRAGANÇA DISTRICT, PORTUGAL: ANALYSIS AND ESTIMATION OF THE CONSEQUENCES TO THE SOIL

Aline Cavalli

Instituto Politécnico de Bragança (Portugal)

ORCID [0001-8483-8211](https://orcid.org/0001-8483-8211) alinecavalli94@gmail.com

Tomás de Figueiredo

CIMO - Centro de Investigação de Montanha

Instituto Politécnico de Bragança (Portugal)

ORCID [0001-7690-8996](https://orcid.org/0001-7690-8996) tomasfig@ipb.pt

Felícia Fonseca

CIMO - Centro de Investigação de Montanha

Instituto Politécnico de Bragança (Portugal)

ORCID [0001-7727-071X](https://orcid.org/0001-7727-071X) ffonseca@ipb.pt

Zulimar Hernández

Grupo de Esafología, Departamento de Geología y Geoquímica
Facultad de Ciencias, Universidad Autonoma de Madrid (Espanha)

ORCID [0002-7790-8397](https://orcid.org/0002-7790-8397) zulimar.hernandez@uam.es

RESUMO

A erosão é uma das ameaças ao recurso solo em Portugal, afetando atualmente áreas consideráveis, situação muito evidente no NE Transmontano. As áreas ardidas em consequência de incêndios florestais possibilitam a expressão deste quadro de risco potencial de erosão severa, traduzindo-se em perda da capacidade de recuperação dessas áreas.

Este trabalho buscou informação disponível sobre a ocorrência de incêndios no Distrito de Bragança de 1990 a 2015 (ICNF). Os resultados mostram uma variação acentuada ao longo da série do número de ocorrências e da área ardida, e uma grande concentração da área ardida em pequeno número de ocorrências, com destaque para 2013 (Picões, 14130 ha). A grande maioria da área ardida corresponde a matos, sendo residual a área agrícola. Os incêndios afetam áreas marginais, parte dos solos já em risco ou com grau severo de degradação, nas quais, o processo de recuperação é, a cada ocorrência, interrompido e em seguida recomeçado com progressivamente mais limitações.

Palavras-chave: Áreas ardidas, ocorrência de incêndios, erosão do solo, NE de Portugal.

ABSTRACT

Erosion is one of the threats to the soil in Portugal. It currently affects considerable areas, as is very evident in NE Trás-os-Montes. The areas burned by forest fires make it possible to fully show this potential risk of severe erosion, which impairs the ability of these areas to recover.

This work searched the information available on the occurrence of fires in the District of Bragança from 1990 to 2015 (ICNF). The results show a marked variation over the series of number of occurrences and the burned area, and a large concentration of the burned area in a small number of occurrences, especially in 2013 (Picões, 14130 ha). The great majority of the burned area corresponds to scrubland, and agricultural land accounts for the rest. Fires affect marginal areas, most of the soil is already at risk or severely degraded, while the recovery process is interrupted at each occurrence and then resumed with progressively greater limitation.

Keywords: Burned areas, occurrence of fires, soil erosion, NE of Portugal.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no IV Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 03-08-2017, sujeito a revisão por pares a 22-09-2017 e aceite para publicação em 15-11-2017. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 26 (I), 2019, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

A erosão é uma das ameaças mais importantes ao recurso solo em Portugal, colocando em risco de degradação áreas consideráveis, o que é muito evidente no NE Transmontano, com extensas zonas de montanha particularmente sensíveis face às condições topográficas favoráveis (Figueiredo *et al.*, 2013). O solo é composto de proporções variáveis de partículas minerais, matéria orgânica, ar e água (Neary *et al.*, 2005) é um recurso natural não renovável, que desempenha inúmeras funções para as atividades humanas e a sobrevivência dos ecossistemas. Deste modo, é de interesse de todos a proteção desse recurso (COM, 2006).

O Distrito de Bragança, Região Nordeste de Portugal, é a divisão administrativa de maior representação de áreas suscetíveis à desertificação no norte do país (Figueiredo *et al.*, 2015), situação esta que pode ser agravada por mudanças no uso da terra, já que ações como o abandono de áreas agrícolas ocasionam o crescimento de zonas de matos e resultam na acumulação de biomassa que é um combustível potenciador na ocorrência de incêndios florestais.

A ocorrência de incêndios florestais pode ocasionar vários efeitos negativos sobre o solo, como a significativa perda de matéria orgânica, deterioração da estrutura e da porosidade, perda considerável de nutrientes através da volatilização, alteração na quantidade e composição específica das comunidades de invertebrados microbianos e de habitação do solo (Certini, 2005). Além disso, em algumas situações o calor produzido durante a queima do combustível acima do solo vaporiza substâncias orgânicas que apresentam compostos hidrofóbicos e as movem para baixo do solo onde se condensam formando uma camada repelente à água, o que acentua ainda mais o escoamento superficial e a erosão pós-fogo (Neary *et al.*, 2005).

Nesta conformidade vem sendo desenvolvida uma linha de investigação com objetivo de analisar as áreas ardidas no Distrito de Bragança, NE Portugal, para a ocorrência, magnitude e distribuição de processos de erosão hídrica, com base em resultados de análises estatísticas dos incêndios ocorridos no Distrito entre 1990 e 2015 a fim de estimar a esta escala as perdas potenciais de solo nas áreas ardidas e suas consequências para a degradação do recurso solo na região.

O presente trabalho tem como propósito apresentar resultados da evolução da linha de investigação mencionada, centrando-se na análise da série de registos de ocorrência de incêndios e áreas ardidas no Distrito de Bragança, bem como na avaliação de base cartográfica das condições de risco de erosão nesse território.

Metodologia

Área de estudo e período de análise

A área de estudo corresponde ao distrito de Bragança, localizado no NE de Portugal, com extensão de aproximadamente 6600 km². O distrito de Bragança subdivide-se em 12 concelhos (municípios), sendo eles: Vinhais, Bragança, Vimioso, Miranda do Douro, Macedo de Cavaleiro, Mirandela, Alfandega da Fé, Mogadouro, Vila Flor, Carraceda de Ansiães, Torre de Moncorvo e Freixo de Espada Cinta (fig. 1).

A avaliação das áreas ardidas da região teve por base dados disponibilizados pela plataforma online do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas - ICNF. O período de análise corresponde aos anos de 1990 a 2015, no qual as áreas atingidas estendem-se por 1555 km², ou seja, 23,56 % da área total do Distrito como apresentado na fig. 2. Estes valores permitem calcular a área média ardida anualmente no Distrito de Bragança, correspondendo a 59,8 km² neste período.

Tratamento dos dados

As informações entre 1990 a 2000 apresentaram menor nível de detalhe, quando comparados com os anos superiores a 2001. Por este motivo, primeiramente avaliou-se o ano mais recente, ou seja, o ano de 2015, a fim de verificar o nível de significância dos valores de áreas ardidas inferiores a 0,1 ha de extensão. Os valores foram agrupados em classes correspondentes a “0,00 a 0,01 ha”, “0,01 a 0,10 ha” e “≥ 0,10 ha”, sendo classificados quer o número de ocorrências de incêndios, quer, o total da área ardida.

Avaliando a ocorrência de incêndios e a área total ardida em hectares no ano de 2015 para as três classes nota-se que, mais de 70 % das ocorrências de incêndios apresentaram-se na classe de ≥ a 0,1 hectares como pode ser observado na fig. 3.

O número de ocorrências da classe “0,01 a 0,10 ha” representa aproximadamente 20 % do total de ocorrências e o total de área ardida não ultrapassa 1 %, por esse motivo, o estudo realizou-se somente com as informações obtidas na classe de “> ou = 0,1 ha”.

Os estudos estatísticos foram tratados para a classe de “> ou = 0,1 ha” realizando assim um estudo sobre o número de ocorrências e área total ardida, distribuição temporal no ano e o uso da terra das áreas queimadas.

Recursos pedológicos e Aptidão da terra das áreas ardidas

Para as análises da tipologia do solo e aptidão da terra das áreas queimadas utilizou-se o *software* ArcGis para realizar a sobreposição da camada vetorial das áreas

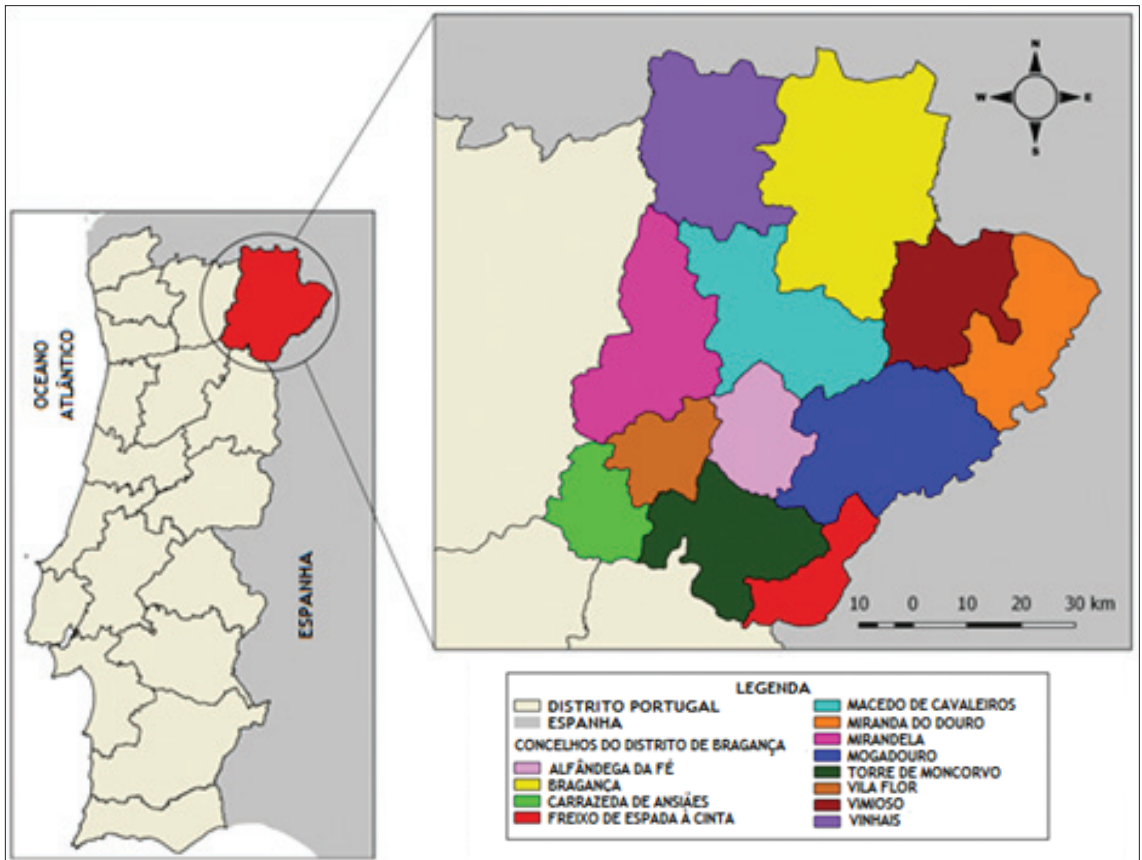


Fig. 1 - Área de estudo: Distrito de Bragança, Nordeste de Portugal e seus municípios.
 Fig. 1 - Study area: The District of Bragança, northeastern Portugal and its municipalities

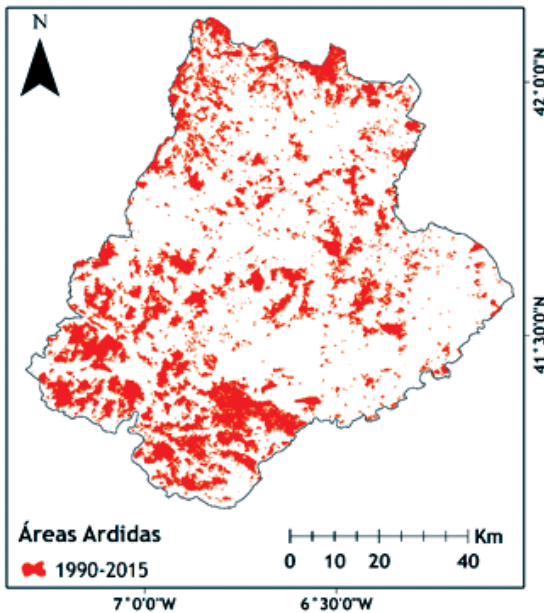


Fig. 2 - Áreas ardidas nos últimos 26 anos no Distrito de Bragança (Fonte: Adaptado de Portal online ICNF, 2017).
 Fig. 2 - Areas burned in the last 26 years in the District of Bragança (Source: Adapted from ICNF online Portal, 2017).

queimadas com a carta dos solos, do uso atual da Terra e aptidão da terra do nordeste de Portugal realizada por Agroconsultores e Coba (1991) versão digital por Figueiredo *et al.* (2000) a fim de obter as informações pedológicas dessas zonas. Para realizar o tratamento dos dados estes foram extraídos para o *software* Excel.

Erodibilidade do solo (fator K)

Neste trabalho o risco de erosão do solo foi aproximado pelo cálculo de erodibilidade do solo da equação universal de perda do solo (URLS). O fator erodibilidade foi estimado de acordo com o procedimento original (Wischmeier e Smith, 1978) utilizando as Equações 1 e 2 (unidades originais; escala granulométrica USDA):

$$K = 2,1 \cdot 10^{-6} \cdot M^{1,14} \cdot (12 - a) + 0,0325 \cdot (b - 2) + 0,025 \cdot (c - 3) \cdot 0,1317 \tag{1}$$

$$M = (\% \text{ Limo} + \text{Areia Muito Fina}) (100 - \% \text{ Argila}) \tag{2}$$

em que:

- K* - fator de erodibilidade [$\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot (\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1})$];
- a* - % Matéria Orgânica, adotando-se como valor máximo de 4 % para teores superiores;

b - código da estrutura;

c - código de permeabilidade;

M - parâmetro de tamanho de partícula

O código da estrutura segue a classificação de Figueiredo (1989) adaptado de Wischmeier e Smith (1978):

- 1 - Agregações granulosa e grumosa muito fina;
- 2 - Agregações granulosa e grumosa fina;
- 3 - Agregações granulosa e grumosa média e granulosa grosseira;
- 4 - Agregações laminoforme, prismoforme, anisoforme e granulosa muito grosseira.

As codificações das classes de permeabilidade usadas foram (Wischmeier e Smith, 1978):

- 1 - Rápida e muito rápida;
- 2 - Moderadamente rápida;
- 3 - Moderada;
- 4 - Moderadamente lenta;
- 5 - Lenta;
- 6 - Luito lenta.

Devido à presença de elementos grosseiros no solo foi necessário proceder à correção dos valores do fator Erodibilidade (K). Para tal, aplicou-se as Equações 3 e 4 (Wischmeier e Smith, 1978; Figueiredo, 2001):

$$K_{eg} = K_{tf} \cdot e^{-0,035 \%RC} \quad (3)$$

$$\%RC = 2,51 \cdot \%EG - 14,46 \quad (4)$$

em que:

K_{eg} - valor de K corrigido pela presença dos elementos grosseiros à superfície;

K_{tf} - fator K estimado apenas para a terra fina;

%EG - percentagem de cobertura superficial do solo por elementos grosseiros;

%RC - cobertura pedregosa (% área).

Foram utilizados os dados analíticos da camada superficial dos perfis da unidade solo da Região conforme Agroconsultores e Coba (1991). Calculado o fator K para todos os perfis disponíveis, foram assumidos como perfis representativos das unidades de solo nas áreas ardidas os correspondentes aos com valor mais próximo da média do fator K obtida para o conjunto de cada unidade solo.

À determinação de erodibilidade do solo seguiu-se a classificação do fator K (Figueiredo, 1989), de acordo com os seguintes níveis de erodibilidade (TABELA I): baixo, médio e elevado.

TABELA I - Classificação do fator de erodibilidade (fator K).

TABLE I - Classification of the erodibility factor (factor K).

Classe	Intervalo de valores <i>ton.ha⁻¹.(MJ ha⁻¹ mm h⁻¹)</i>	Fator K Designação
1	<0,017	Baixo
2	0,017 - 0,021	
3	0,021 - 0,024	
4	0,024 - 0,029	
5	0,029 - 0,035	Médio
6	0,035 - 0,040	
7	0,040 - 0,046	
8	0,046 - 0,053	
9	0,053 - 0,061	Elevado
10	0,061 - 0,069	
11	0,069 - 0,078	
12	≥ 0,078	

Fonte: Adaptado de T. Figueiredo 1989.

Source: Adapted of Figueiredo 1989.

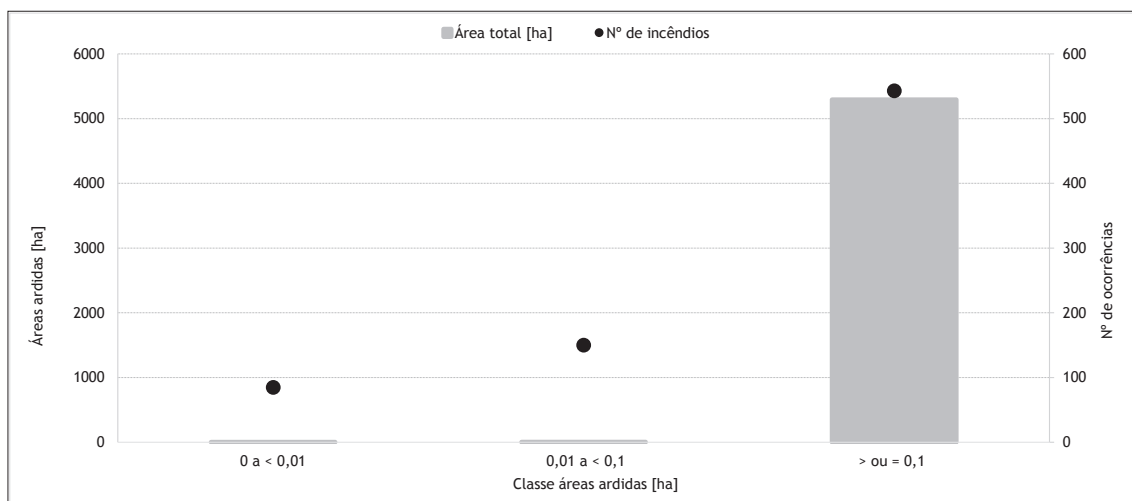


Fig. 3 - Nº de ocorrências e área total ardida por classe de área, sublinhando o carácter residual dos registos de áreas ardidas com menos de 0,1 hectares para o ano de 2015.

Fig. 3 - Number of occurrences and total area burned by area class, underlining the residual character of burned areas of less than 0.1 hectares recorded for the year 2015.

Resultados e discussão

Número de ocorrências e área total ardida

O fogo é um elemento crucial para o funcionamento dos ecossistemas Mediterrâneos, no entanto, nos últimos 30-40 anos os incêndios vêm assumindo dimensões catastróficas (Coelho *et al.*, 2015). A fig. 4 apresenta o número de ocorrências e a extensão total de áreas ardidas durante o período de 1990 a 2015.

O gráfico também apresenta um decréscimo nas áreas ardidas após 2005, mostra uma extensão ardida classificada como baixa se comparada aos anos anteriores, porém, após 2010 esse cenário inverte significativamente. Segundo Coelho *et al.* (2015), para Portugal continental a elevada extensão nas áreas ardidas esteve associado a períodos de temperaturas muito elevadas mas, também, à elevada disponibilidade de biomassa, relacionada com abandono da gestão florestal.

Em 2014, as áreas totais ardidas apresentaram menores extensões atingidas mas em 2015 a extensão ardida volta a aumentar. Desta forma, reforça-se a importância de medidas mitigadoras para resolução deste problema a partir de medidas isoladas de prevenção ou de combate aos incêndios, adotando estratégias integradas pela comunidade (Coelho *et al.*, 2015). Junto a isso também faz-se interessante estar atento às medidas estabelecidas para a realização do fogo controlado de acordo com a Resolução da Assembleia da República n.º 76/2017 de 24 de março de 2017.

Distribuição temporal das áreas ardidas no ano

A fig. 5 apresenta a distribuição temporal das áreas totais ardidas, avaliando as ocorrências de incêndios desde 1990 a 2015.

De acordo com a análise realizada entre os anos de 1990 e 2015, o valor de 50 % das áreas ardidas é atingido em cada ano maioritariamente em agosto (ocorre em 19, de um total de 26 anos). No entanto, em 4 anos esse limiar foi atingido em julho, e em 3 anos esse limiar foi atingido em setembro ou outubro.

A quase totalidade da área ardida em cada ano (99 %) registou-se maioritariamente em setembro (em 15 de um total de 26 anos), ocorrendo em outubro a frequência mais baixa (9 anos em 26) em novembro e dezembro ainda menores (4 anos em 26). O limiar do 75 % de áreas ardidas em cada ano apresenta uma distribuição temporal intermédia como se pode ver na fig. 5.

A grande concentração das ocorrências de incêndio e da extensão das áreas ardidas corresponde aos meses de verão. No entanto, não se pode deixar de considerar o outono e o início do inverno, na medida em que o fogo também pode se manifestar nestas estações. Segundo Bernardino *et al.* (2013) as condições meteorológicas não são as únicas causas dos incêndios, pois estes também dependem dos fatores topográficos, combustível, fonte de ignição, ou seja, da vulnerabilidade associada a cada ambiente.

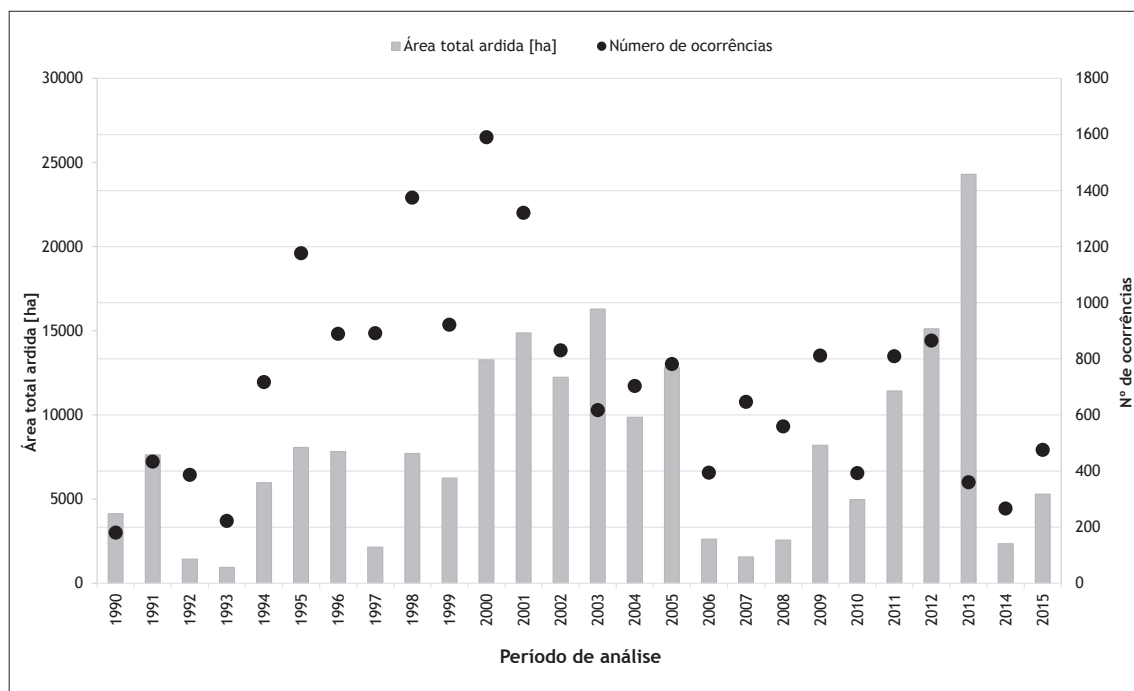


Fig. 4 - Área total ardida e número de incêndios entre 1990 e 2015.

Fig.4 - Total area burned and number of fires between 1990 and 2015.

Devido à concentração de incêndios conta-se que, cuidados na prevenção contra incêndios devem ser redobrado nos meses de agosto, setembro e outubro, assim como nos restantes meses do ano, pois segundo estudo realizado por Nogueira *et al.* (2015), até mesmo quando a severidade do fogo é baixa já acarreta alterações nas propriedades químicas no solo.

Uso da terra anterior ao incêndio

A comparação anual entre as áreas afetadas por incêndios nos usos agrícola, floresta e matos é representado na fig. 6.

Fica visível a incidência de incêndios em ambientes com vegetação de matos no NE Português. Estas correspondem cerca dos 70 % da extensão ardida ao longo dos últimos anos. Esse facto pode ser explicado pelo grande

armazenamento de biomassa, conjuntamente com as características ambientais que possibilitam a ignição e facilitam a propagação dos incêndios. Segundo as análises os incêndios florestais correspondem cerca de 20 % das áreas queimadas e em ambientes agrícolas essa percentagem é representada por aproximadamente 10 %.

Estudos realizados em 2014 apresentam que a área ocupada por matos no Distrito de Bragança correspondia a 22 % do território total do Distrito (Figueiredo *et al.*, 2014) ou seja, a ocorrência de incêndios em ambientes de matos é muito elevada em relação aos demais ambientes. Uma explicação para a elevada proporção de áreas de matos ardidas pode ser a grande concentração de combustível acumulada, a localização mais remota relativamente aos núcleos populacionais onde o controlo social tem condições mais limitadas

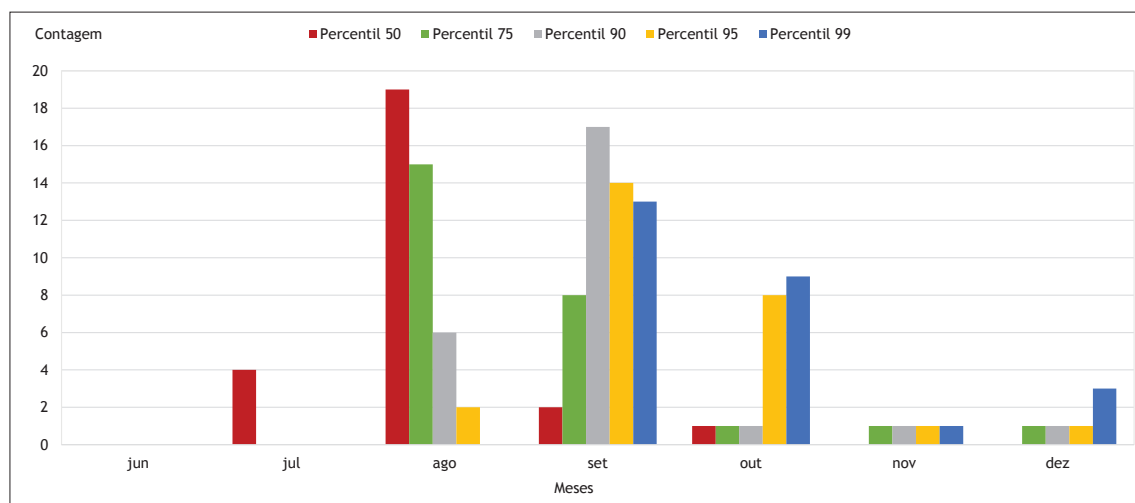


Fig. 5 - Distribuição temporal das áreas ardidas.

Fig. 5 - Distribution over time of the burned areas.

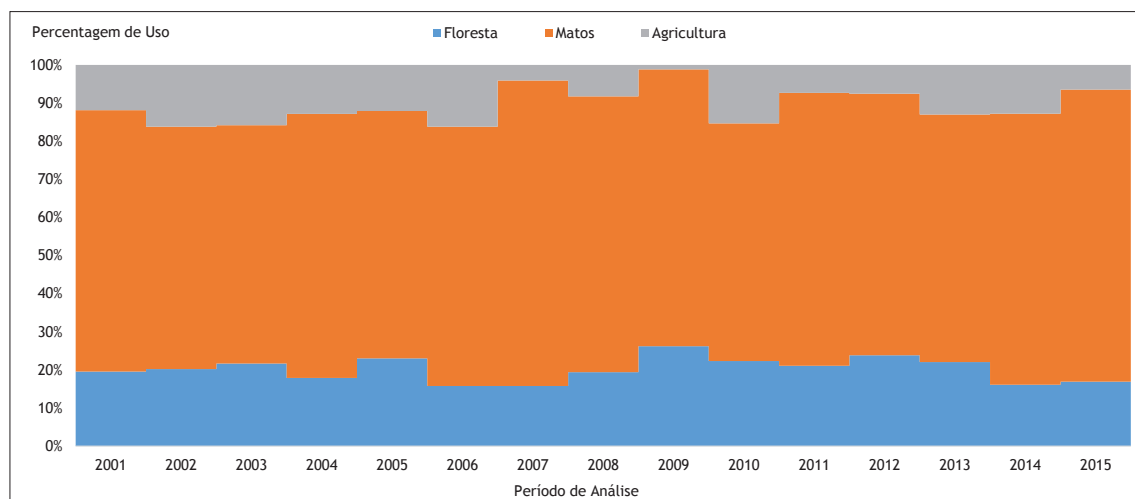


Fig. 6 - Uso da terra anterior a ocorrência dos incêndios.

Fig. 6 - Use of land prior to the occurrence of fires.

de realização, tanto mais quanto se associa a baixa densidade da população rural.

Essa baixa densidade populacional vem ocorrendo devido ao abandono das regiões serranas, ocasionando a desproteção progressiva dos terrenos agrícolas que vem alterando o uso da terra podendo resultar em um desequilíbrio na adequação do uso à aptidão da terra na região (Cunha, 2003). O aparente cenário conservativo para o recurso solo resultante das tendências na evolução recente do uso da terra acabam por dar origem a um potencial de degradação acelerada do solo, ainda mais pela distribuição preferencial dos matos em áreas marginais declivosas (Figueiredo *et al.*, 2015).

Recurso Pedológicos nas áreas queimadas e Aptidão da terra

A região Nordeste de Portugal apresenta como principais unidades dos solos Leptossolos (71,6%), Cambissolos (13,4%) e Antrossolos (6,9 %) (Figueiredo, 2013). O que se observamos a fig. 7 se pode perceber que essas classes também são predominantes nas áreas atingidas.

A dominância das áreas queimadas são em Leptossolos (90 %), esse tipo de solo possui características incipientes, delgados e de elevada pedregosidade (Figueiredo, 2013), tendo em sua maioria menos de 20 % de terra fina (Agroconsultores e Coba, 1991) e ocupação preferencial por matos e matas (Monteiro *et al.*, 2005). Os Cambissolos apresentam-se em 9 % das áreas, estes são solos moderadamente evoluídos formados a partir da alteração do material originário, podendo ser material do próprio local ou de sedimentos aí depositados (Agroconsultores e Coba, 1991). Outros tipos de solos tais como Luvisolos, Antrossolos, Fluvisolos e Alissolos correspondem a 1 %.

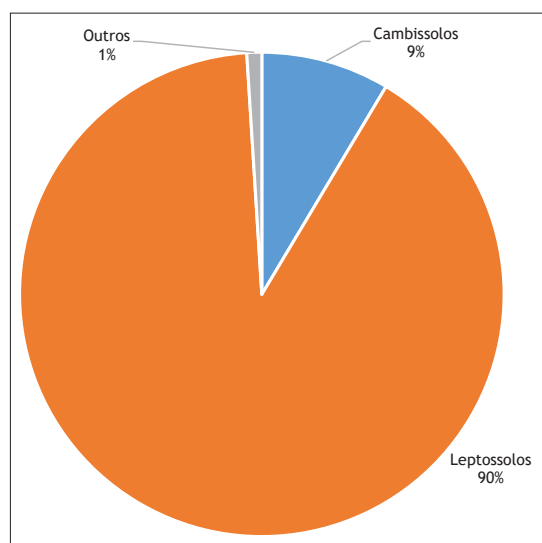


Fig. 7 - Principais unidades de solo das zonas queimadas do NE Portugal.

Fig. 7 - Main soil units of burned areas of NE Portugal.

Essa percentagem em Leptossolos e Cambissolos podem explicar o fato das áreas estudadas terem apresentado dominância em xistos (49 %) que são solos franco, franco arenoso e limoso, em geral com horizonte C constituído por rocha desagregada e também 33 % de rochas graníticas que são solos com horizonte A franco-arenoso ou arenoso-franco, em geral saibrento ou cascalhento (Agroconsultores e Coba, 1991). Pois os xistos e rochas graníticas são bastante características de Leptossolos e Cambissolos (Agroconsultores e Coba, 1991).

O conhecimento dos solos em um território é de grande importância para a identificação das potencialidades e limitações aos riscos que podem ser associados ao uso da terra. Na fig. 8 pode-se visualizar características dos solos das áreas queimadas.

A espessura do solo é de grande importância para o desenvolvimento das plantas, já que as condições de enraizamento são determinadas pela espessura útil do solo e pela facilidade de penetração radicular (Agroconsultores e Coba, 1991). Nas áreas queimadas no NE de Portugal apenas 5 % do solo apresenta espessura superior a 1 metro, ou seja, uma pequena fração dos solos atingidos apresentam condições favoráveis para o uso agrícola. A maioria das áreas atingidas fora em solo com espessura entre 10 a 50 cm, considerados solos pouco desenvolvidos e de textura grosseira.

Em relação ao teor de humidade de água no solo, as áreas apresentam condições de carência de água severa e muito severa em 90 % dos casos, querendo dizer que há baixa capacidade de disponibilizar água para as plantas nesses locais. Esta situação resulta do balanço de vários fatores: a precipitação e sua distribuição ao longo do ano, a evapotranspiração, a quantidade de água que se infiltra no solo, entre outros (Agroconsultores e Coba, 1991).

Em 41 % das áreas estudadas estima-se que os solos são pedregosos (apresentam mais de 30% de elementos grosseiros em volume), o que dificulta a realização de práticas agrícolas convencionais nestes ambientes.

O declive também é uma característica importante para as instalações e práticas culturais além de exercer grande influência na erosão do solo. Figueiredo (2013) apresenta que segundo as boas práticas agronômicas, as áreas não favoráveis a operações agrícolas mecanizadas são as com declive superior a 12 - 15 %, o que nos mostra que as práticas agronômicas seriam convenientes de serem realizadas em apenas 25 % da área total estudada.

Desta forma não impressiona que a aptidão da terra para os três usos seja em sua maioria nula (fig. 9), mostrando que nesses ambientes seria interessante que o solo estivesse coberto por vegetação espontânea, o que em regra se traduz pela colonização após o abandono desses usos por comunidades arbustivas,

precedida por uma curta fase de colonização por comunidade herbáceas. Em escala temporal mais ampla, e sem interrupções na sucessão, poderá evoluir para comunidade arbóreas climáticas, apenas quando

a evolução do solo, entretanto ocorrida, o permita. A fig. 9 faz-se notar também que em 14 % das áreas atingidas se encontram solos com aptidão elevada para o uso florestal.

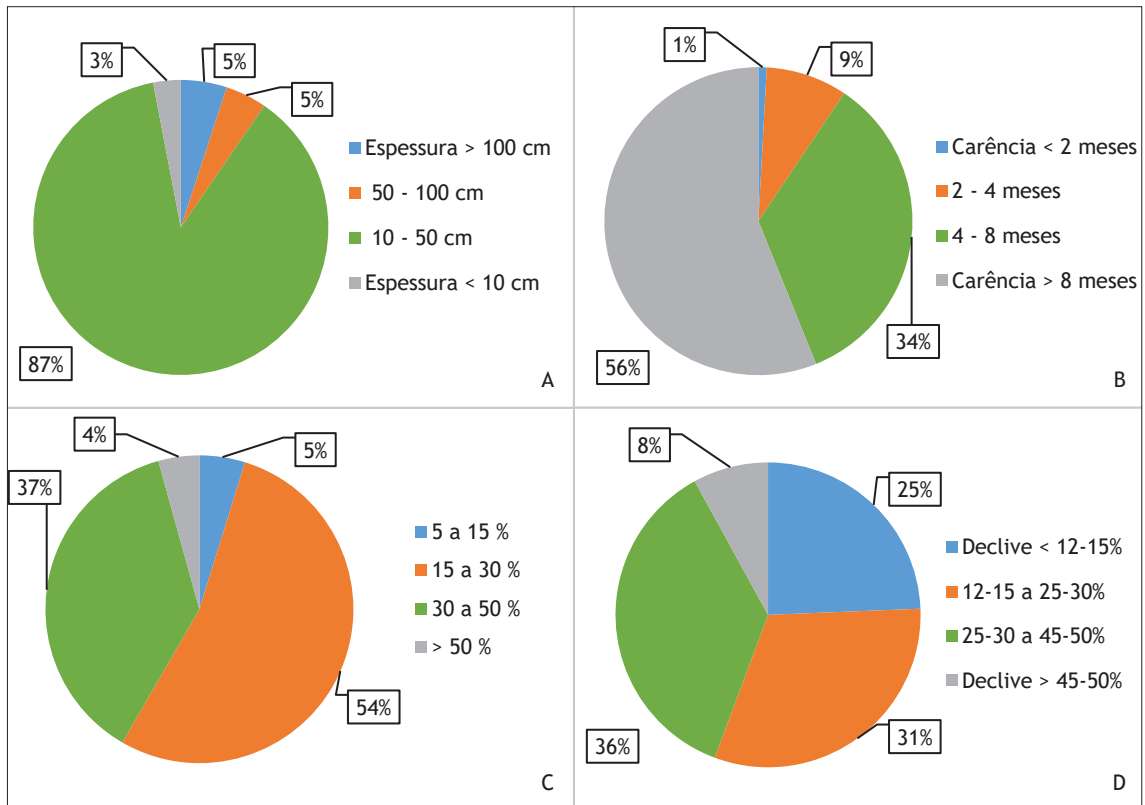


Fig. 8 - Características dos solos em áreas incendiadas: A. Espessura do solo; B. Carência de água no solo; C. Pedregosidade (% de Elementos grosseiros); D. Declive dominante do terreno.

Fig. 8 - Soil characteristics in burned areas: A. Soil depth; B. Lack of water in the soil; C. Stoniness; D. Gradient of the land.

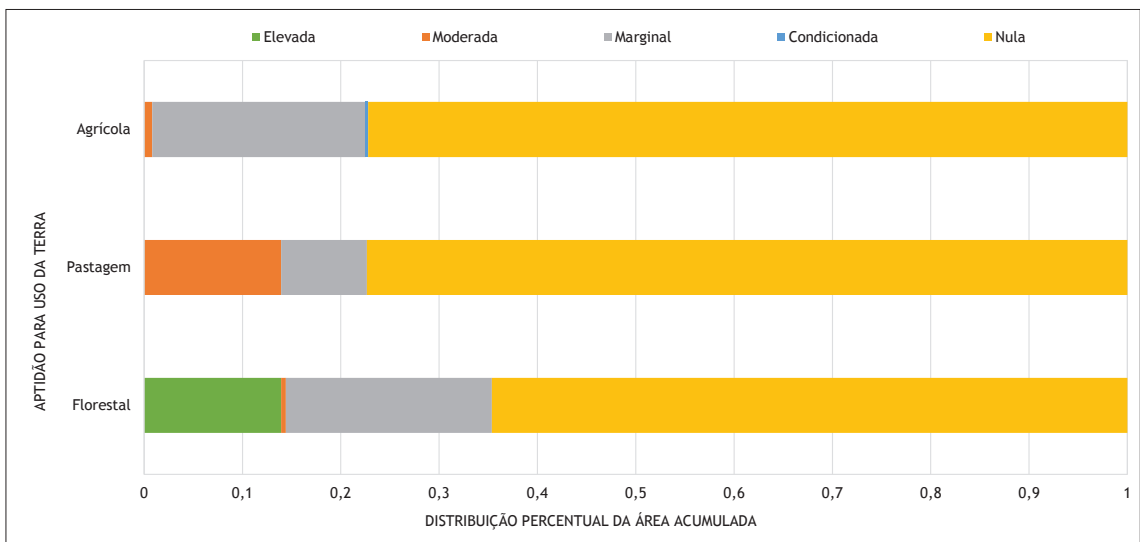


Fig. 9 - Classe de aptidão para o uso da terra em áreas queimadas no Nordeste de Portugal.

Fig. 9 - Land use suitability classification in burned areas in NE Portugal.

Erodibilidade do solo

A erodibilidade dos solos avalia a suscetibilidade intrínseca do solo à erosão (Morgan, 2005). Na fig. 10 pode-se analisar as percentagens das áreas ardidas nos últimos 25 anos divididas por classe de erodibilidade.

A predominância do fator de erodibilidade é média devido principalmente à contribuição das percentagens das classes 6, 7 e 8, que apresentam 17 %, 15 % e 43 %, respetivamente. As classes maiores (9, 10, 11) ocupam 23 % do território estudado o que resulta em uma maior atenção já que possuem solos com erodibilidade elevada, ou seja estado de degradação severa dos solos.

Entretanto, devido à presença dos Elementos Grosseiros no solo, especialmente na superfície, faz com que ocorra a proteção do solo contra os impactos da água da chuva, além de reduzir a velocidade do escoamento superficial criando zonas de deposição de sedimentos (Figueiredo, 1989). Desta forma, fez-se a correção da erodibilidade para esses fatores, sendo apresentados na fig. 11 em percentagem de áreas queimadas nos últimos 25 anos por classe Fator K.

Após a correção a erodibilidade do solo das áreas queimadas apresentou-se em 84 % baixa, com 49 % só na classe 1 o que revela que nessas áreas não atribui-se elevada exportação de partículas. Com isso, alguns trabalhos confirmam que as perdas de solo são mais baixas em ambientes pedregosos devido ao aumento das taxas de infiltração de água, protegendo a superfície do solo contra as forças de impacto da chuva, além da evaporação e redução na velocidade do escoamento superficial (Poesen e Lavee, 1994; Figueiredo *et. al.*, 2012)

Algumas áreas apresentaram pedregosidade muito baixa, não sendo necessária sua correção. Coincidentemente estas situações ocorreram em áreas com erodibilidade elevada mantendo o fator K inalterado.

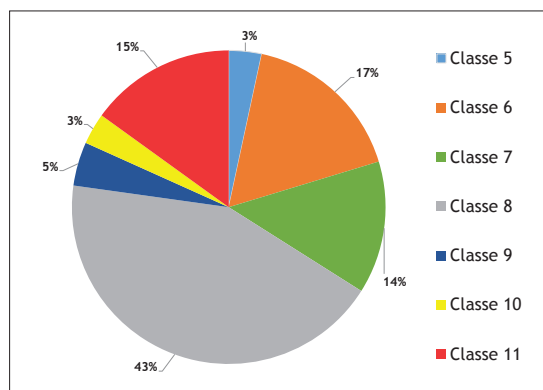


Fig. 10 - Percentagem de áreas queimadas nos últimos 25 anos por classe de classificação do valor de K.

Fig. 10 - Percentage of area burned in the last 25 years by value of K factor erodibility classification.

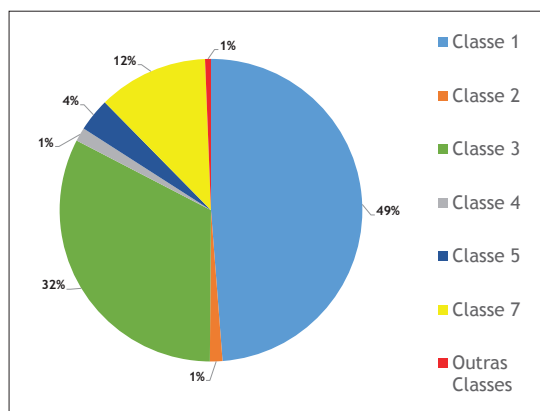


Fig. 11 - Percentagem de áreas queimadas nos últimos 25 anos por classe de classificação do valor de K corrigido pela presença dos elementos grosseiros à superfície.

Fig. 11 - Percentage of area burned in the last 25 years by value of K factor corrected by the presence of coarse elements at the surface.

Conclusão

Este trabalho permitiu verificar a grande ocorrência de incêndios na região NE de Portugal entre 1990 e 2015, cujos valores médios por ano de ocorrências são de cerca de 715 e a área atingida de 1555 km². A muito expressiva importância dos matos enquanto áreas afetadas por incêndios (70 % dos casos) sugere causas relacionadas com o combustível acumulado em extensões tendencialmente maiores, face à rarefação da população rural e ao abandono da terra e, por outro lado, sugere ainda que à baixa densidade populacional estará associado menor controlo social sobre essas áreas, deste modo, sendo menos vigiadas e fiscalizadas.

A grande maioria das áreas ardidas correspondem a solos sem aptidão para uso agrícola, pastagens e florestas ou seja, não apresenta nenhum uso produtivo, no contexto do significado que comumente lhe é atribuído. Neste contexto, o uso adequado será de conservação e não de produção. Em relação à erodibilidade da terra fina dos solos apresentou em sua maioria moderada, no entanto dada a elevada pedregosidade do solo os efeitos dos elementos grosseiros reduz esse fator.

Deste modo, este trabalho visou apresentar uma contribuição na análise pedológica e agronómica das áreas queimadas da região NE de Portugal, por forma a poder sugerir as páticas mais adequadas ao local, buscando o não comprometimento do valioso recurso solo.

Agradecimentos

Tem-se total agradecimento pela colaboração da colega Maria Clotilde Carré Chagas Neta (Participante do programa de mobilidade internacional IPB/UFPEL) pelo desenvolvimento da fig. 2.

Referências bibliográficas

- AGROCONSULTORES E COBA. (1991). *Carta dos solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal*. (UTAD/PDRITM, Ed.). Vila Real.
- Bernardino, S., Lourenço, L. e Gonçalves, J. (2013). Incêndios Florestais e Risco de Ignição nos Distritos de Coimbra e Castelo Branco, entre 1981 e 2010. In A. Bento-Gonçalves & A. Vieira (Eds.), *Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos*, 45 - 61.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. Volume 143, 1-10.
- Coelho, C. e Valente, S. (2015). Envolvimento dos agentes locais na identificação de soluções para o combate à desertificação e degradação do solo. In T. de Figueiredo, F. Fonseca, & L. Nunes (Eds.), *Protecção do solo e Combate à Desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças* (p. 37-46). Bragança: Instituto Politécnico de Bragança - IPB.
- COM. (2006). Proposta de Directiva do parlamento Europeu e do Conselho que estabelece um quadro para a protecção do solo e altera a Directiva 2004/35/CE. Bruxelas: Commission of European Communities. 31 p.
- Cunha, L. (2003). A montanha do centro português : espaço de refúgio , território marginal e recurso para o desenvolvimento local. *Territórios, Ambiente E Trajectórias de Desenvolvimento*, Ed. Caetano, Lucília (Coord.), 175-191.
- Figueiredo, T. (1989). Estimativa de Erodibilidade em alguns perfis de Unidades de Solo representativas de Trás-os-montes: 1 primeira aproximação. Instituto Politécnico de Bragança Eds. 16 p.
- Figueiredo, T. (2001). Pedregosidade e Erosão Hídrica dos Solos em Trás-os-Montes: Contributo para a interpretação de registos em vinhais ao alto na Região do Douro. Tese de Doutoramento, UTAD, Vila Real.
- Figueiredo, T. (2013). *Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano*. Instituto Politécnico de Bragança Eds. 47 p.
- Figueiredo, T. , Araújo, J. e Castro, J.P.M. de (2000). A Carta dos Solos do Nordeste de Portugal em SIG. ESAB, Bragança.
- Figueiredo, T., Fonseca, F. e Hernández, Z. (2015). Uso da terra e riscos de degradação do solo no Nordeste de Portugal: mudanças nas últimas décadas. In M. do C. Horta & C. Alexandre (Eds.), *Proteger as funções do solo Assegurar a vida da Terra*, 63-69.
- Figueiredo, T., Fonseca, F. e Martins, A. (2012). Soil loss and run-off in young forest stands as affected by site preparation technique: a study in NE Portugal. *European Journal of Forest Research*. ISSN 1612-4669. 131:6, 1747-1760
- Figueiredo, T., Fonseca, F. e Pinheiro, H. (2014). Fire hazard and susceptibility to desertification: a territorial approach in NE Portugal. In P. e S. RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos (Ed.), *RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança* (p. 117-121). Guimarães.
DOI: <https://doi.org/10.14195/978-989-96253-3-4>
- Figueiredo, T., Fonseca, F. e Queirós, A. (2013). Efeitos do fogo na erosão do solo em áreas de matos: Resultados de um ano de ensaios no Parque Natural de Montesinho. In A. Bento-Gonçalves & A. Vieira (Eds.), *Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos*, 267-277.
- ICNF - INSTITUTO DA CONSERVAÇÃO DA NATUREZA E DAS FLORESTAS, I. P./DEPARTAMENTO DE GESTÃO DE ÁREAS CLASSIFICADAS, PUBLICAS E DE PROTEÇÃO FLORESTAL (2013). Relatório anual de áreas ardidas e incêndios florestais em Portugal continental 2013, 50 p.
- Monteiro, A., Ferreira, C., Madureira, H., Quenol, H., Maciel, Â., Pinto, A., ... Guerner, J. (2005). *Atlas Agroclimatológico do Entre Douro e Minho: Relatório do Projecto POCTII/GEO/14260/1998*.
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation*. Blackwell Publishing, Ed. (3 ed.). Australia.
- Nery, D. G., Ryan, K. C. e DeBano, L. F., eds. (2005). *Wildland Fire in Ecosystems, effects of fire on soil and water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 p.
- Nogueira, C., Fonseca, F. e Figueiredo, T. (2015). Avaliação temporal do efeito do fogo controlado em propriedades químicas do solo, em áreas de montanha com matos. In M. do C. Horta & C. Alexandre (Eds.), 31-38.
- Poesen, J. e Lavee, H. (1994). Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena*. Vol. 23, 1-28.
- Resolução da Assembleia da República n.º 76/2017 de 24 de março de 2017. *Diário da República*, 1.ª série — N.º 88 — 8 de maio de 2017. Assembleia da República. Lisboa
- Wischmeier, W. H. e Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook No. 537* p.



RISCOS



IMPROVEMENT OF A TECHNIQUE TO ASSESS ECOLOGICAL DAMAGE
TO THE ATMOSPHERE FROM WILDFIRES*

MELHORIA DE UMA TÉCNICA PARA AVALIAÇÃO DOS DANOS ECOLÓGICOS
PRODUZIDOS NA ATMOSFERA POR INCÊNDIOS FLORESTAIS

Tatyana Belkova

Institute of Non-destructive testing of Tomsk polytechnic university, Tomsk (Russia)
ORCID 0000-0001-6951-3670 belkova.tatyan@gmail.com

Valeriy Perminov

Institute of Non-destructive testing of Tomsk polytechnic university, Tomsk (Russia)
ORCID 0000-0002-2063-2713 valerperminov@gmail.com

Nikolay Alekseev

Institute of Non-destructive testing of Tomsk polytechnic university, Tomsk (Russia)
ORCID 0000-0001-7926-8613 alnikar@mail.ru

ABSTRACT

Data on negative ecological consequences of forest and peat fires have been systematized. A specific woodland area of coniferous and deciduous trees in the Tomsk region has been studied. The ecological and economic damage caused by different types of fires in the 1 ha area has been calculated.

Keywords: Ecological and economic damage, wildfires, peat fires, damage assessment.

RESUMO

Dados sobre consequências ecológicas negativas dos incêndios florestais e turfa têm sido sistematizados. Reserva específica da madeira de coníferas e caducifólias raças de árvores na região de Tomsk foi investigada. Calculouse danos ecológicos e económicos, provocado por diferentes tipos de incêndios na área de 1 hectare.

Palavras-chave: Danos ecológicos e económicos, incêndios florestais, incêndios de turfa, avaliação de danos.

Introduction

Taking into account the essential importance of the woods for the ecology and people's economic activity, a problem of rational use of forest resources and measures of its protection and reproduction becomes urgent for Russia, as well as for the whole world. Woodlands in Russia occupy about a half of the country area, therefore containing one fifth of all world reserves of the wood. Distribution and structure of the woods depends on climatic and anthropogenous factors. The greatest indicators of woodiness (over 80 %) have been noted in the middle taiga in Perm region, in Komi Republic and Central Siberia (Popova, 2015).

Annually tens and even hundred thousands of hectares of forest are destroyed by wildfires. It includes not only a loss of valuable business wood (loss of the wood can reach from 5 to 95 % depending on the kind and the fire intensity), but also an ecological damage which is shown up long in time and is capable to make impact on biocenoses in the local and regional levels).

Ecological damage to the surrounding environment is the actual ecological, economic or social losses which have resulted in the violation of the nature protection legislation, human beings' economic activity, natural ecological disasters and other accidents. The damage is shown in the form of losses of natural, labor, material,

* O texto desta nota corresponde a uma comunicação apresentada no IV Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetida em 01-08-2017, sujeito a revisão por pares a 22-09-2017 e aceite para publicação em 18-05-2018. Esta nota é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 26 (I), 2019, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

financial resources in the national economy, and in the deterioration of social and hygienic conditions of accommodation for the population and high-quality changes (losses) of economic capacity of the country (RIA News, 2016) and (Department of forestry of the Tomsk region, 2016).

Wildfires are the sources of pollution of the surrounding environment. Despite of the extensive material damage, they deteriorate substantially the sanitary and hygienic situation; as in the result of the fire, the products of full and incomplete combustion get in the atmosphere, soil and water. The fire extinguishing substances and a large amount of water used for suppression of the fires are also capable to cause long-term ecological consequences which have not been investigated completely. While burning, various chemical transformations occur; some difficult toxic connections are formed. The quantitative and qualitative structure of products of burning depends on the properties of the forest combustible materials, an exit of flying combustible components and the time of their burning out.

Emitted substances of the peat fires are the most dangerous due to their toxicity. It is experimentally established that among products of peat burning there are saturated and unsaturated hydrocarbons, benzene, toluene and other toxic agents which exceed the value of the threshold limit in thousands of times according to their concentration (N. Kostyleva, *et al.*, 2010) and (K. Gongalsky, 2015). Taking into account that the peat fire can last for months, the volume of emissions of toxic agents increases in considerable scales.

The most dangerous negative factor of the underground fires is the pollution of the atmosphere ground layer. The forest and local fires, which are quite often the cause of the peat fires, create powerful ascending air streams which extend products of peat burning to tens of kilometers. In the absence of such streams, only the pollution of the atmosphere ground layer occurs. The smoke of such fires is extremely dangerous for people who have diseases of respiratory organs and the cardiovascular system and can cause death. Specialists of the US Department of Internal Affairs and Environment associated with the independent experts in the sphere of ecology claim that emissions of carbon from the fires in the USA and nearby countries will increase in 50 % by 2050 and will double by 2100 (S. Solovyov, 2006).

The composition of the flying and semi-flying organic substances emitted in the course of peat burning (I.J. George *et al.*, 2016) and (R.R. Black *et al.*, 2016) has been studied in the laboratory. The samples have been taken from two national parks in Northern Carolina in USA. The burning has been carried out in special installation with a possibility of the analysis

of volatile compounds within 7 hours. It has been established that the greatest fraction (60 %) represents flying organic aerosols (acetaldehyde, formaldehyde, benzene, toluene and chloromethane). As a part of firm particles, alkanolic and alkenolic organic acids and the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) have been found. General concentration of polyaromatic hydrocarbons (over 12 mg/kg) has happened to be higher than similar indicators of biomass burning and, however, equal from the point of view of the level of the toxicity (J.D. Landsberg *et al.*, 2012) and (G.E. Machilis, 2002).

Now there is an insignificant quantity of the developed techniques on the assessment of ecological damage caused by the fire in industrial facilities and the woods. The methods of assessment of ecological and social consequences of the fires give results substantially differing from each other. Now damages caused by wildfires are assessed as the cost of the lost of the valuable wood. However, the ecological consequences of the fires have much more difficult and deep character.

Nevertheless, these days there is no common technique which allows calculating an actual ecological damage caused by the vegetation fires. As a rule, an ecological damage is a part of ecological and economic damage which is reflected in the cost loss of the wood. Respectively there is an urgent need of the development of a technique of assessment of ecological damage from the pollution in the atmosphere caused by natural wildfires.

Methods

According this technique (Methodic of calculation of concentration in atmospheric air of the harmful substances which are contained in emissions of the enterprises, 1986) the ecological and economic damage caused by wildfires has been designed for 1 hectare of forest vegetation on the sample of the boreal and deciduous woods. According to the technique, an ecological and economic damage consists of the wood losses (m^3) and losses of its cost (in Rubles). Losses of the wood are defined taking into an account the look and the intensity of the fire, breed of a tree and average diameter of its trunk. The purpose of this article is to develop a methodology for assessing the environmental damage to the atmosphere from forest wildfires.

The following basic data for calculations have been accepted:

- Specific reserve of the wood ($153 m^3$ for coniferous breeds and $145 m^3$ for deciduous ones (per 1 hectare).

- Average intensity of the fires.
- Average diameter of trees trunks (25-32 cm).

The coefficients of the wood loss depending on the tree breed and the type of the fire are presented (TABLE I).

Results and discussion

Environmental damage from pollution of the natural environment is defined as the sum of the costs of reimbursement of damage caused by individual sources within a certain territory. However, there is no single methodology that allows efficient calculation of direct ecological damage from forest fires, not only in the territory of the Russian Federation, but also in the territory of a number of developed countries of the world. The developed methodology is designed to calculate in value form the amount of damage caused to the environment by forest natural fires.

Forest fires are accompanied by air emissions of a significant number of different small gas components including carbon oxides (CO, CO₂), nitrogen oxides (NO, NO₂), sulfur dioxide (SO₂), as well as aerosols, fly ash and soot. Such emissions have a significant

impact on the quality of the environment, produce negative effects on human health, affect climate and visibility conditions.

We are proposing to use the coefficient of loss of forest combustible materials, which should be taken in consideration of the composition of forest combustible materials, the peculiarities of certain types of fires as well as the specific density of a particular type of wood. These coefficients accurately reflect the strength and specificity of each specific type of fire and detail the calculations.

Losses of the wood in m³ are presented (TABLE II).

The cost of losses of the wood is calculated considering the correction coefficient in relation to the rate of forest taxes at removal distance which is 0,72 taking an average diameter of plantings equaled 24 cm. The current rate of forest taxes for the business wood of the average category of fines according to the second category of dachshunds equals 23 RUB for 1 m³. The damage from the wood losses is presented in TABLE III. If the sale of the wood remains possible after the fire, the size of the damage is subtracted from the cost of the wood which is suitable for sale.

TABLE I - Basic data for calculating the ecological and economic damage.

TABELA I - Os dados básicos de cálculo de dano ecológico e econômico.

Breed of the tree	Wood reserve (per 1 hectare)	Percentage (of the general stock) of the died-off wood and expected subsequent smasher			
		Local fluent fire	Local steady fire	Peat fire	Crown fire
Larch	145	5	25	70	15
Pine	153	10	35	75	90
Cedar	153	15	5	80	75
Fir-tree	153	20	60	95	95
Fir	153	30	85	100	95
Birch	145	20	55	95	55
Aspen	145	7	30	95	30

TABLE II - Loss of material for 1 hectare.

TABELA II - Perdas da madeira por 1 hectare.

Breed of the tree	Losses of the wood, m ³			
	Local fluent fire	Local steady fire	Peat fire	Crown fire
Larch	7,25	36,25	101,5	21,75
Pine	15,3	53,55	114,75	137,7
Cedar	22,95	7,65	122,4	114,75
Fir-tree	30,6	91,8	145,35	145,35
Fir	45,9	130,05	153,0	145,35
Birch	29,0	79,75	137,75	79,75
Aspen	10,15	43,5	137,75	43,5
Total damage from the fire	161,15	442,55	912,5	688,15

TABLE III - Damage from timber loss for 1 hectare.

TABELA III - Dano de perdas da madeira por 1 hectare.

Breed of the tree	Correction coefficient	Tax. RUB.	Cost of losses of the wood, RUB.			
			Local fluent fire	Local steady fire	Peat fire	Crown fire
Larch	0,72	23,0	120,06	600,3	1680,84	360,18
Pine			253,368	886,788	1900,26	2280,312
Cedar			380,052	126,684	2026,944	1900,26
Fir-tree			506,736	1520,208	2406,996	2406,996
Fir			760,104	2153,628	2533,68	2406,996
Birch			480,24	1320,66	2281,14	1320,66
Aspen			168,084	720,36	2281,14	720,36
Total damage from the fire					2668,64	7328,62

Conclusion

According to the given results of calculations, it is possible to draw the following conclusions.

In general the ecological and economic damage from the fires to the boreal and deciduous woods can be characterized as considerable. Annually about 300 thousand hectares of forest plantings are destroyed by wildfires that results in economic damage estimated in 60 billion rubles.

The greatest ecological and economic damage is caused by the peat (underground) fires and the riding fires. Peat fires destroy trees completely leading to their death; burning out of the soil and its excessive fertilizing with the ashes leads to changing of the mode trees life, when most of trees are depressed and often die.

Riding fires are the most dangerous, spontaneous and powerful. They cover crowns and, due to their extremely quick speed, extend to huge territories. Because of the riding fires, as the tree burns out entirely, the valuable business wood is destroyed completely and therefore becomes out of sale.

Coniferous breeds of trees (pine, cedar) suffer from the fire most often. However, these breeds of trees are the most widespread in Siberia. This fact also influences the speed of the wildfires distribution and, as a result, increases an ecological and economic damage.

The situation with the wildfires has been worsened by the changes in forestry. Recently the number of works on monitoring and aerial surveillance of the woods has been reduced, the material and technical resources have been exhausted and the personnel list of forest firefighters in the services has been cut down. All this leads to the impossibility of timely and effective forecast, localization and suppression of the wildfires and it results in the increase of ecological and economic damage.

References

- Black, R. R., Aurell, J., Holder, A., George, I. J., Gullett, B. K., Hays, M. D., Geron, C. D., Tabor, D. (2016). Characterization of gas and particle emissions from laboratory burns of peat emissions. *Atmospheric Environment*, 132, 9-57.
- DEPARTMENT OF FORESTRY OF THE TOMSK REGION (Portal of news). Available at: <http://www.green.tsu.ru/dep/quality%20of%20the%20environment/kachestva/> (accessed 20 May 2016).
- George, I. J., Black, R. R., Geron, C. D., Aurell, J., Hays, M. D., Preston, W. T., Gullett, B. K. (2016). Volatile and semivolatile organic compounds in laboratory peat fire emissions. *Atmospheric Environment*, 132, 163-170.
- Gongalsky, K. B. (2015). *Regularities of restoration of communities of soil animals after wildfires: Ph.D. abstract*. Moscow, p. 43.
- Kostyleva, N. V., Mikisheva V. I., Sorokina, T. V. (2010). Ecological damage: questions, questions ... *Geographical messenger*, no.1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskij-uscherb-voprosy-voprosy> (in Russian).
- Landsberg, J. D., Tiedemann, A. R. (2012). In drinking water from forests and grasslands: a synthesis of the scientific literature. *Fire management*. Idaho, USA, 124-138.
- Machilis, G. E. (2002). Report to the National Wildfire Coordinating Group. *In Burning questions: A social science research plan for federal wildland fire management*. Idaho, University of Idaho.
- METHODIC OF CALCULATION OF CONCENTRATION IN ATMOSPHERIC AIR OF THE HARMFUL SUBSTANCES WHICH ARE CONTAINED IN EMISSIONS OF THE ENTERPRISES (OND-86). It is approved as the Chairman of the State committee of the USSR on hydrometeorology and control of the environment on August 4, 1986 No. 192.
- RIA NEWS (Portal of news). Available at: <http://ria.ru/society/20130131/920679337/> (accessed 13 May 2016).
- Solovyov, S. V. (2006). *Ecological consequences of the forest and peat fires: Ph.D. Moscow*, 222 p.

XI ENCONTRO NACIONAL DE RISCOS: INCÊNDIOS EM ESTRUTURAS. APRENDER COM O PASSADO

Carla Boto Pereira

Regimento de Sapadores Bombeiros, Câmara Municipal de Lisboa (Portugal)
ct.pereira38@gmail.com

137

No passado dia 25 de outubro realizou-se no Fórum Picoas | Altice, em Lisboa, o XI Encontro Nacional de Riscos subordinado ao tema: "*Incêndios em Estruturas. Aprender com o Passado*" (fig. 1).

O referido Encontro foi composto por dois painéis, o primeiro dos quais decorreu no período da manhã, tendo sido alusivo ao tema: *Grandes Incêndios em Estruturas*, com moderação da autora desta notícia (fot. 1).

Este primeiro painel contou com apresentações de:

1. Vítor Primo | Comandante dos Bombeiros Sapadores e Proteção Civil de Vila Nova de Gaia, sobre: *Incêndios em estruturas. Lições aprendidas*;
2. Miguel Gil | Técnico superior e coordenador do Museu do Regimento de Sapadores Bombeiros, com a apresentação de um incêndio altamente emblemático: *O incêndio da rua da Magdalena em 1907. Retrospetiva a grandes incêndios em estruturas na cidade de Lisboa*;
3. Júlia Alves | Coordenadora do Gabinete de Segurança, Saúde e Sustentabilidade da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, com a apresentação: *40 anos após o incêndio da Politécnica. Renascer das cinzas*.
4. Carlos Ferreira de Castro | Responsável pela Unidade de Proteção e Segurança da Action Modulers, com a apresentação: *Segurança contra incêndios em estruturas. Facilidades para a prestação do socorro*.



Fig. 1 - Portada de la tesis de Rocío Blas Morato.

Fig. 1 - Cover of the thesis of Rocío Blas Morato.

O segundo painel, moderado pelo Professor Doutor Betâmio de Almeida, decorreu durante a tarde e foi dedicado ao *Incêndio do Chiado 30 anos depois. Aprender com o passado* (fot. 2).



Fot. 1 - Pormenor da mesa do Painel 1.

Photo 1 - Detail of the Panel 1.



Fot. 2 - Aspeto da mesa do Painel 2.

Photo 2 - Appearance of the Panel 2.

No âmbito deste painel, assistimos às apresentações de:

1. Carlos Silva e Pedro Pedro, Subchefes de 1ª classe do Regimento de Sapadores Bombeiros, com a apresentação: *30 anos volvidos sobre o incêndio do Chiado. Que lições a retirar?*
2. Pedro Patrício | Comandante do Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa e Alberto Militão, Chefe Principal (Aposentado) do RSB, com a apresentação: *E se o chiado fosse hoje? Estaremos agora melhor preparados?*
3. Ana Teresa Peixinho | Professora da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, com o tema: *O incêndio do chiado nos jornais: a narrativa de uma catástrofe;*
4. E por último, Eduardo Brito Henriques, Professor do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, com: *A reabilitação urbana do Chiado e a transformação do centro histórico de Lisboa.*

Este Encontro (fot.s 3 a 6), teve como objetivos visitar o passado, no caso em concreto dos incêndios em estruturas, ou seja, de incêndios urbanos que, pela sua natureza, marcaram a paisagem arquitectónica e a vida social, política e cultural das diferentes épocas em que ocorreram, bem como refletir conjuntamente numa perspetiva multidisciplinar sobre os ensinamentos, as lições e as experiências que daqui se podem retirar.

Aprender com o passado é saber viver o presente e olhar o futuro numa perspetiva construtiva de querer fazer mais e melhor. É ter a capacidade de perceber o que de bem fizemos à época dos incêndios e o que de menos bom ocorreu.

Das comunicações apresentadas no âmbito dos Incêndios em estruturas, aprender com o passado, foi possível retirar as seguintes conclusões:

1. Os grandes incêndios são sempre eventos catastróficos, quer pela perda de bens, de património, de histórias e memórias, quer, principalmente, pela perda de vidas, com todo um impacto no contexto social, económico, cultural e político da época em que ocorrem.
2. Este Encontro dedicou-se essencialmente aos incêndios na malha urbana, tentando analisar com maior profundidade os grandes incêndios ocorridos em Lisboa e Porto nos últimos 200 anos. O incêndio no teatro de Baquet; o incêndio na Rua da Magdalena; o incêndio da Faculdade de Ciências na Rua da Escola Politécnica; o incêndio do Chiado; o incêndio na fábrica de estatuetas Marfitini e, mais recentemente o incêndio da loja Conforama.
3. Portugal tem, infelizmente, um longo historial de incêndios que fazem parte da memória coletiva. Muitos órgãos de comunicação social fazem extensas coberturas mediáticas destas ocorrências, não deixando que elas caiam no esquecimento. O incêndio do Chiado enquanto narrativa jornalística alimentou a necessidade de aprender com o passado e não deixou cair em esquecimento, nos indivíduos e no coletivo, a sua imagem dantesca, em virtude da forma como foi captado pelos media, como eles construíram a peça e a forma como a divulgaram.
4. Se é de facto importante recordar estes eventos, talvez o mais importante seja a sua análise para dela retirar lições e ilações que possam não só diminuir o número de futuras ocorrências, mas principalmente minimizar o seu impacto.

5. Numa imediata e breve análise holística aos incêndios em estruturas apresentados no XI Encontro, é consensual a identificação de denominadores comuns potenciadores destes eventos, alguns dos quais são: a falta de medidas de proteção e a dificuldade de acesso aos locais (espaço urbano).
6. Ao longo das várias apresentações no Encontro em causa ficou patente a necessidade imperiosa da existência de medidas de segurança contra incêndios nos vários edifícios. Esta preocupação deve estar patente na concepção do edifício e ser monitorizada durante sua construção e respetiva utilização.

A Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa é um excelente exemplo desta preocupação. Renasceu das cinzas. A tragédia constituiu-se como um fator de recuperação, reconstrução e superação e, por isso, hoje prima por uma cultura de segurança.
7. No que respeita aos edifícios já construídos, podem ser feitas adaptações que permitam melhorar as medidas de segurança em estruturas e também facilitar a intervenção dos meios de combate a incêndios. Importa, porém, conhecer a tipologia construtiva do edificado, a sua zona de implementação e as vias circundantes para chegada ao local, a fim de otimizar os recursos humanos e logísticos de combate a incêndios. Impera cada vez mais a necessidade de se desenvolverem os conhecidos e várias vezes abordados: Planos Prévios de Intervenção (PPI).
8. Foi claramente referido que atualmente o conhecimento (know-how) sobre a deflagração e a propagação de um incêndio, bem como sobre a forma da sua contenção e combate é muito grande. Mas,

esse conhecimento deve ser não só partilhado, mas também, objeto de contínua atualização e análise, com rigor científico, para que possa ser útil a um universo cada vez maior de intervenientes no âmbito da proteção civil.

9. Este conhecimento é, ainda, fundamental para fazer face às exigências da evolução tecnológica (meios e equipamentos de socorro), às necessidades das populações e ao seu evolutivo grau de informação.
10. Impera a definição de uma doutrina, para que todos os corpos de bombeiros intervenientes, num qualquer teatro de operações, possam ter uma linguagem comum, um léxico comum e uma padronização de procedimentos, para uma eficaz coordenação e gestão das operações.
11. No que concerne a instrumentos que permitam a melhoria contínua de uma intervenção, foi referida a necessidade de desenvolvimento ou construção de matrizes transversais aos corpos de bombeiros, que garantam o registo de informações sobre o combate a incêndios e delas se possa retirar mais do que simples evidências e prospetivar melhores intervenções e melhores resultados.
12. O sucesso do combate a incêndios reside, assim, no conhecimento partilhado, aliado à distribuição da informação e à experiência do terreno, numa visão trans-multi-inter-pluridisciplinar. Contudo, impera também uma relação das instituições públicas, com responsabilidade em matéria de combate a incêndios, com as academias, observatórios e centros de investigação numa tetralogia funcional em prol de uma racionalização de meios e de uma intervenção otimizada.



Fot. 3 - Vista geral dos participantes no Encontro.

Photo 3 - General view of participants in the Meeting.

13. O conhecimento, a informação, a experiência das formas de combate, a saúde, a condição física, a aptidão para a função dos vários intervenientes no teatro de operações, os meios e equipamentos, são hoje substancialmente superiores ao verificado nos incêndios do século XX, constituindo-se como um imperativo nas estratégias das instituições detentoras de corpos de bombeiros.
14. Os simulacros e as visitas técnicas são uma outra constante no âmbito do treino operacional dos corpos de bombeiros, tendo em vista a ótima preparação para resposta a ocorrências, se e quando elas acontecerem. A formação e o treino sistemáticos contribuem de forma decisiva para a qualificação da bombeiro e eficácia da ação em situação de ocorrência.
15. Prevenção, meios e equipamentos, ajustados à realidade dos fenómenos de incêndio em estruturas, aliados a formação, doutrina, informação e entrosamento das organizações, numa lógica de stakeholders da proteção civil, constituem o garante de uma resposta em tempo útil aos incêndios de Lisboa.

Lição aprendida

Se hoje estamos melhores preparados, o amanhã é a certeza de que o conhecimento não se esgota no aqui e agora, nem nestas lições aprendidas no XI Encontro Nacional RISCOS. Mas algo é certo: o fenómeno dos incêndios dos Chiados de Lisboa e do País terão sempre o mesmo impacto na vida quotidiana de todos nós, através das narrativas jornalísticas... e da globalização da informação pelas redes sociais.



Fot. 4 - O Presidente da RISCOS com os Representantes da CML.
Photo 4 - RISCOS President with the CML Representatives.



Fot. 5 - Aspectos da sessão de posters.
Photo 5 - Aspects of the Poster session.



Fot. 6 - Pormenor da mesa de encerramento.
Photo 6 - Detail of the closing table.

PRÉMIOS “CIÊNCIA” E “OPERACIONALIDADE” - 2017

Fátima Velez de Castro

Departamento de Geografia e Turismo, CEGOT e RISCOS
Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra (Portugal)ORCID 0000-0003-3927-0748 velezcastro@fl.uc.pt

141

Luciano Lourenço

Departamento de Geografia e Turismo, NICIF, CEGOT e RISCOS
Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra (Portugal)ORCID 0000-0002-2017-0854 luciano@uc.pt

Dando cumprimento à deliberação da Direção da RISCOS, tomada na sua reunião do dia 2 de fevereiro de 2017, a RISCOS atribui anualmente dois prémios: um deles, denominado “ciência”, para distinguir o melhor trabalho submetido nas suas publicações, e o outro designado de “operacionalidade”, para distinguir uma personalidade que se tenha destacado pela sua dedicação à Associação.

Ainda que, inicialmente, os prémios tenham sido pensados como forma de estimular os associados a um maior envolvimento com a associação, foi depois entendido que eles deveriam ser mais abrangentes, tendo-se alargado também a não associados, de modo que o regulamento do prémio “Ciência” passou a referir expressamente que ele se destina *quer a associados, quer a não membros, que publiquem trabalhos inéditos na revista Territorium ou nas Séries de Livros sobre “Riscos e Catástrofes” e sobre “Estudos Cindinicos” e, ainda, em outra obras que, porventura, venham a ser editadas pela RISCOS.*

Para avaliar esses trabalhos, em cada ano passou a ser nomeado um júri específico que avalia todos os trabalhos que se encontram naquelas condições, tendo em consideração diversos critérios, designadamente os seguintes:

- i. Qualidade do conteúdo científico do trabalho publicado;
- ii. Caráter inovador do tema;
- iii. Aplicabilidade prática do trabalho em apreço;
- iv. Impacte científico, traduzido na relevância dos resultados para o conhecimento dos riscos em geral e, em particular, para o desenvolvimento da área científica em estudo;
- v. Respeito pela metodologia de elaboração de textos científicos.

Por sua vez, o prémio “operacionalidade” foi criado para distinguir uma personalidade que, nesse ano, se tenha destacado pela sua dedicação à Associação.

Ora, à semelhança do sucedido no ano passado, estes prémios voltaram a ser solenemente entregues, desta vez durante a sessão de abertura do XI Encontro Nacional de Riscos.

Com o Prémio “Operacionalidade 2017” foi distinguido o Prof. Doutor António Amaro, Vice-Presidente da RISCOS, pelo relevante contributo que emprestou a diversas atividades promovidas pela Associação no ano transato e, muito em particular, pelo seu envolvimento pessoal e pelo empenho posto no processo de atribuição do estatuto de “instituição de utilidade pública” à RISCOS.

O prémio foi-lhe entregue pelo Coronel Tirocinado Eng.º Maia e Costa (fot. 1), Presidente da Mesa da Assembleia Geral da RISCOS e vencedor deste galardão no ano anterior, de 2016.



Fot. 1 - Momento em que se procedeu à entrega do prémio “Operacionalidade 2017”.

Photo 1 - Time when the “Operationality 2017” premium was delivered.

No uso da palavra (fot. 2), o premiado começou por agradecer distinção que lhe foi concedida e ressaltou o importante papel da Associação para a prevenção dos riscos e para a segurança dos cidadãos, sublinhando o

significado de algumas atividades realizadas para a tomada de consciência dos riscos e a percepção do perigo, bem como na produção de conhecimento e na transmissão dos saberes, sobretudo a partir de agora, tendo em vista a futura constituição dum Centro de Formação.



Fot. 2 - Prof. Doutor António Amaro, prémio "Operacionalidade 2017", na sua alocução.

Photo 2 - Prof. António Amaro, "Operability 2017" premium, in his speech .

Com o prémio "ciência", o júri distinguiu os autores do artigo "Perceção do risco sísmico e de incêndio na Universidade de Lisboa - Faculdade de Letras", realizado por Margarida Queirós, Ângela Santos e Luís Carvalho, o qual foi publicado na revista *Territorium* n.º 24. A atribuição desta distinção teve em consideração o relevante contributo científico do trabalho publicado, a sua aplicabilidade e o seu impacte para o desenvolvimento da área científica em estudo.

Na impossibilidade de, por razões profissionais, todos os autores estarem presentes, eles estiveram representados pela Doutora Ângela Santos, que recebeu o prémio (fot. 3) e proferiu uma breve alocução (fot. 4) em que agradeceu a atribuição desta recompensa pelo trabalho produzido e que muito honra os autores, tendo depois ressaltado as principais conclusões do artigo publicado e as implicações que dele decorrem para a segurança dos utentes da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa.

O prémio foi-lhe entregue pelo Prof. Doutor Betâmio de Almeida, na sua dupla qualidade de Vice-Presidente da Mesa da Assembleia Geral da RISCOS e de vencedor do Prémio "Ciência 2016".



Fot. 2 - Pormenor da entrega do prémio "Ciência 2017".

Photo 2 -Detail of the delivery of the "Science 2017" premium.



Fot. 4 - Doutora Angela Santos, prémio "Ciência 2017", no uso da palavra.

Photo 4 - Doctor Angela Santos, "Science 2017" premium, in the use of the word.

A próxima atribuição de prémios, referentes ao ano de 2018, decorrerá na sessão de abertura do XII Encontro Nacional da Riscos, marcado para o dia 27 de Abril de 2019, a ter lugar em Faro, e dedicado ao "Risco Sísmico. Aprender com o passado".

II JORNADAS DE DEFESA + SAÚDE

Paulo Campos

Comandante do Agrupamento Sanitário, Exército Português (Portugal)
[pacamos@netcabo.pt](mailto:pacampos@netcabo.pt)

Isabel Madeira

Direção de Serviços de Saúde Militar e Assuntos Sociais, DGRDN, MDN (Portugal)
isabel.madeira@defesa.pt

Romero Bandeira

ICBAS/UP e Investigador do CEIS20/UC; UEIFIS - B.V. S. Pedro da Cova (Portugal)
ueifis.bvspc@gmail.com

143

Realizaram-se no dia 14 de novembro de 2018 as “II Jornadas de Defesa + Saúde”, subordinadas ao tema Medicina de Catástrofe (fig. 1). Esta segunda edição, que decorreu na Fundação Champalimaud em Lisboa, foi uma iniciativa do Ministério da Defesa Nacional, e pretendeu partilhar experiências e conhecimento, bem como promover o debate e a divulgação de temas da Saúde Militar entre as Forças Armadas e a Sociedade Civil, contribuindo desta forma para promover os laços de colaboração entre as entidades militares e civis no domínio da Saúde.

A oportunidade deste tema foi suscitada durante a realização da quinta reunião do Fórum de Saúde Militar da Comunidade de Países de Língua Portuguesa (FSM/CPLP), entre responsáveis dos serviços de Saúde Militar dos Estados-membros da CPLP, realizada no Agrupamento Sanitário em Tancos, cuja coordenação cabe a Portugal, no qual foi apreciado um documento orientador relativo à resposta militar a situações de catástrofe no espaço desta comunidade.

Com efeito, os cenários de catástrofe originados pela natureza, bem como as ameaças resultantes da escalada internacional do terrorismo exigem a intervenção de múltiplas competências técnicas em que o setor da defesa, por um lado, e o setor da saúde, por outro, devem assumir protagonismo e relevância especial, sendo exigível uma cooperação e uma articulação cada vez mais efetivas entre o apoio militar de emergência e as entidades civis na salvaguarda da saúde, da integridade física e do bem-estar individual e coletivo.

Após a sessão de abertura (fot. 1), presidida por Sua Excelência a Secretária de Estado da Defesa Nacional, Prof. Doutora Ana Santos Pinto, o início dos trabalhos decorreu com a mesa “Resposta do Sistema de Saúde Militar Português em Situações de Catástrofe”, moderada pelo Comodoro Médico Naval José Manuel Jesus Silva, Diretor de Saúde Militar do Estado-Maior-General das Forças Armadas, e contou com a presença dos Diretores de Saúde dos três Ramos das Forças Armadas, bem como da Diretora do HFAR.



Fig. 1 - Logotipo das Jornadas de Defesa + Saúde.

Fig. 1 - Logo of the Defense Days + Health.



Fot. 1 - Aspeto da mesa da sessão de abertura.

Photo 1 - Appearance of the table of the opening session.

Ainda durante os trabalhos da manhã decorreu a mesa “Lessons Learned”, abordando situações de *mass-casualty* e *mass-gathering*, moderada pelo Tenente-Coronel Médico Paulo Campos, e contou com a presença de peritos internacionais reconhecidos, nomeadamente o General Médico Henri Julien, PhD (Presidente da Sociedade Francesa de Medicina de Catástrofe), Coronel Médico Daniel Di Giambattista (Chefe do Departamento de Socorros da Alta Córsega), Dr. António Marques (Presidente da Comissão de Trauma do Ministério da Saúde), Dr. Gonçalo Órfão (Coordenador Nacional de Emergência da CVP), e o Coronel Médico Patrick Hertgen, PhD (Chefe do Departamento de Socorros do Norte de França).

Durante a tarde (fot. 2), os trabalhos científicos reiniciaram-se com a mesa “Desafios Multidisciplinares”, abordando temas como “Formação e Treino”, “Social Media e Comunicação em Situações de Catástrofe” e “Intervenção Psicológica em Crise/Catástrofe”, entre outros, também moderada pelo Tenente-Coronel Médico Paulo Campos, e contou com a presença do Prof. Doutor Romero Bandeira (ICBAS/UP e Investigador do CEIS20/UC), do Major Veterinário Júlio Carvalho (Chefe do Departamento de Qualidade da Unidade Militar Laboratorial de Defesa Biológica e Química do Exército), da Dra Patrícia Gaspar (2ª Comandante Operacional Nacional do Comando Nacional de Operações de Socorro da ANPC), da Dra Ana Miguel Santos (Investigadora Convidada de Direito e Segurança da Universidade de Cambridge), do Capitão-de-Fragata Paulo Rodrigues Palma (Comandante da Companhia Geral CIMIC) e da Alferes Psicóloga Ana Sofia Brito (Núcleo de Apoio e Intervenção em Crise do Centro de Psicologia Aplicada do Exército).

Ainda durante a tarde, decorreu a Conferência “Medicina de Catástrofe versus Medicina Militar”, pelo Comodoro Médico Naval José Manuel Jesus Silva.

Os trabalhos foram encerrados com a presença do Dr. Alberto Rodrigues Coelho, Diretor-Geral de Recursos da Defesa Nacional.

As “II Jornadas de Defesa + Saúde” constituíram uma oportunidade única de partilha de conhecimento, centrando a atenção de participantes e peritos nesta matéria atual, discutindo possibilidades de ampliação de resposta a Catástrofes através das várias capacidades existentes no Sistema de Saúde Militar Português em complemento das capacidades do sistema de resposta civil, aprendendo com a experiência internacional da resposta a Catástrofes recentes, ou ainda tomando nota da multidisciplinaridade de vetores convergentes como o Direito, a Comunicação, a Intervenção Psicológica ou a Formação, entre outros.



Fot. 2 - Vista geral da assistência que participou nos trabalhos das II Jornadas de Defesa + Saúde.

Photo 2 - Overview of the assistance that participated in the work of the II Defense + Health Conference.

**AÇÕES DE FORMAÇÃO PARA PROFESSORES
DE ACORDO COM O REFERENCIAL DE EDUCAÇÃO PARA O RISCO DOS ENSINOS PRÉ-ESCOLAR,
BÁSICO (1.º, 2.º E 3.º CICLOS) E SECUNDÁRIO**

Luciano Lourenço

Departamento de Geografia e Turismo, NICIF, CEGOT e RISCOS
Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra (Portugal)
ORCID 0000-0002-2017-0854 luciano@uc.pt

145

A realização de Ações de Formação sobre Riscos, destinadas a Professores, tem sido um objetivo que a RISCOS tem vindo a perseguir, sobretudo após a publicação do Referencial de Educação para o Risco (RERisco), mas que tarda em concretizar-se, apesar dos sucessivos passos que têm vindo a ser dados no sentido de alcançar esse desiderato. Estamos mais próximos desse objetivo, mas, enquanto não for conseguido, entendemos aproveitar a realização do XII Encontro Nacional de Riscos para dar início a esse tipo de formação.

Para esse efeito, tendo em conta que a RISCOS ainda não é uma entidade certificada pelo CCPFC, contactámos o Centro de Formação de Professores da Ria Formosa, da associação das escolas dos concelhos de Faro e Olhão, que se disponibilizou a realizar um conjunto de ações em parceria com a RISCOS.

Ora, a fundamentação para a realização deste tipo de ações de formação, por parte da RISCOS, decorre do facto desta Associação dispor de formadores especializados em matérias relacionadas com o Referencial de Educação para o Risco (RERisco), que, como é sabido, foi produzido na sequência de um protocolo de colaboração, por uma equipa interdisciplinar, constituída por elementos da Direção-Geral da Educação (DGE) e da Direção-Geral dos Estabelecimentos Escolares (DGEstE), do Ministério da Educação e Ciência, e da Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC), do Ministério da Administração Interna, tendo sido aprovado por despacho do Senhor Secretário de Estado do Ensino Básico e Secundário, a 28 de julho de 2015.

Estas instituições têm por missão, designada e respetivamente:

- [...] assegurar a concretização das políticas relativas à componente pedagógica e didática da educação pré-escolar, dos ensino básico e secundário e da educação extraescolar [...];
- [...] cooperar com outros serviços, organismos e entidades em matéria de educação e promover, coordenar e acompanhar a prevenção e intervenção na área da segurança escolar, bem como, conceber, organizar e executar as medidas de prevenção do risco, segurança e controlo da violência das escolas [...];
- [...] planejar, coordenar e executar a política de proteção civil [...].

Por outro lado, este tipo de formação deve ter como foco o conceito de risco, enquanto probabilidade de ocorrência de um perigo, de origem natural ou de origem antrópica, que se pode traduzir em prejuízos ou danos em pessoas e bens, ou seja, que deve ser tratado numa perspetiva de Educação e de Proteção Civil.

Acresce que este referencial constitui um documento orientador para implementação desta área científica no Ensino, desde a Educação Pré-Escolar, aos Ensinos Básico e Secundário, em conformidade com o estipulado no Decreto-Lei n.º 139/2012, de 5 de julho, posteriormente alterado, entre outros, pelos Decreto-Lei n.º 91/2013, de 10 de julho, e Decreto-Lei n.º 55/2018, de 6 de julho. Todos estes diplomas se propõem contribuir para a concretização da Educação para o Risco, no quadro da Educação para a Cidadania e Desenvolvimento, quer na sua dimensão transversal, quer na realização de projetos e iniciativas que contribuam para a formação pessoal e social dos alunos e, ainda, na oferta de componentes curriculares complementares, nos 1.º, 2.º e 3.º ciclos do ensino básico, através da oferta a todos os alunos da componente da Cidadania e Desenvolvimento, de acordo com a alínea i) do n.º 2, do Artigo 6.º, do Decreto-Lei 55/2018.

Na elaboração do referencial houve a preocupação de não constituir um programa prescritivo, mas sim a de produzir um guia orientador, uma vez que ele contempla uma abordagem técnico-pedagógica que estabelece a ponte necessária entre a comunidade e a escola, objetivo primordial no contexto da Educação para a Cidadania e Desenvolvimento, constituindo-se assim como um instrumento orientador do desenvolvimento da Educação para o Risco nos diversos espaços em que, na escola, esta componente do currículo se pode concretizar. Entre outros aspetos, pode ser utilizado e adaptado em função das opções a definir em cada contexto, designadamente como instrumento de orientação e de apoio que, no âmbito da autonomia de cada estabelecimento de ensino, enquadre as práticas a desenvolver no respeito pelos Programas e Metas Curriculares das disciplinas.

Como os docentes sentem alguma dificuldade na lecionação e aplicação desta matérias, por não as terem trabalhado durante a sua formação, a RISCOS entendeu facilitar-lhes essa tarefa, começando por promover ações de Formação no Algarve (fig. 1), com vista a sensibilizar os Docentes da Educação Pré-Escolar, do

Ensino Básico (1.º, 2.º e 3.º ciclos) e do Ensino Secundário da Região, para as questões relacionadas com os riscos, designadamente em termos de:

- Identificação dos conceitos de risco: natural, antrópico e misto, bem como dos respetivos subtipos;
- Apresentação genérica dos conteúdos, constantes do RERisco, sobre riscos naturais, antrópicos e mistos, bem como sobre as respetivas causas e os principais efeitos e, ainda, a localização das áreas geográficas mais suscetíveis a cada tipo de risco;
- Conhecimento dos comportamentos de prevenção, por forma a promover a aquisição de hábitos de segurança, com vista à minimização do risco;
- Aplicação das medidas de autoproteção apropriadas a cada situação em que haja manifestação de risco.

Esta formação visa, ainda, criar condições para a capacitação de docentes no âmbito do Referencial de Educação para o Risco, consciencializando-os para a problemática dos riscos, no contexto de uma cidadania ativa, tornando-os capazes de formar cidadãos solidários e conscientes em matéria de proteção e socorro, contribuindo assim para a promoção, na sociedade portuguesa, de uma cultura estratégica de segurança, o que passa por lhes:

- Ministrar uma componente técnica e científica sobre riscos;
- Incutir a necessidade de promoverem ações de informação pública que motivem os alunos para a adesão a projetos que aumentem a sua preparação para situações de emergência;
- Dar a conhecer medidas de autoproteção adequadas aos diferentes tipos de risco, de modo a que os alunos as saibam aplicar em caso de manifestação de riscos.

Com estes objetivos, está prevista a realização de três *curios de formação*, respetivamente sobre:

- INIRIS - *Iniciação aos Riscos* inicialmente previsto para 26 de janeiro, decorreu a 23 de fevereiro de 2019;
- RMIF - *Riscos mistos: Incêndio florestal* (9 de fevereiro de 2019);
- ENRS - *Encontro Nacional sobre Risco Sísmico* (27 de abril de 2019),

e, além destes três cursos, também está prevista a realização de uma

- Oficina de formação*, que naturalmente aproveita e integra estes três cursos e, também, a respetiva TPD - *Transposição pedagógico-didática* para as Escolas (11 de fevereiro a 5 de abril);

Esta transposição para as Escolas, passará por:

- Pesquisa e recolha de informação por parte dos estudantes da turma, previamente distribuídos por

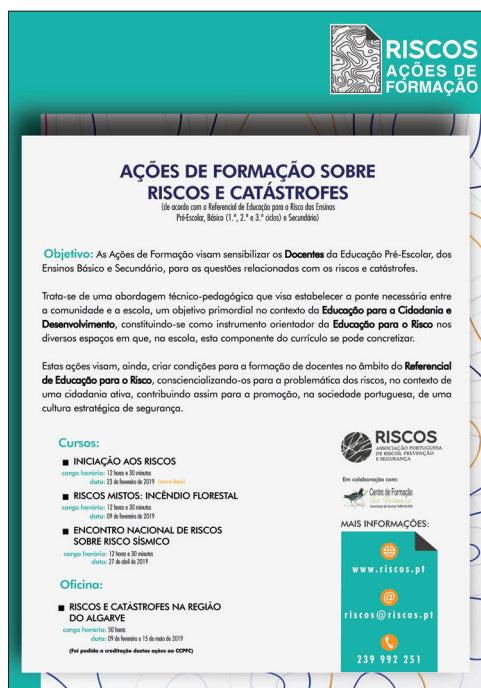


Fig. 1 - Reprodução do cartaz de divulgação.

Fig. 1 - Reproduction of the publicity poster.

grupos, em que cada um deles trata um dos temas seguintes que, no conjunto, permitem a análise dos principais riscos que podem afetar a região algarvia.

- Concepção e elaboração de posters pelos estudantes da turma.
- Realização de uma exposição na Escola, para celebração de um Dia Mundial/Nacional significativo como, por exemplo, da Proteção Civil (1 de março), da Floresta (21 de março), da Água (22 de março), ou de ... para apresentação e explicação dos posters à comunidade escolar.
- Entrega do poster na Escola Secundária João de Deus, em Faro (26 de Abril) e participação na exposição de posters, a decorrer durante o XII Encontro Nacional de Riscos, 27 de abril.
- Avaliação (entre 28 de abril e 15 de maio), através da elaboração de um breve relatório crítico sobre a avaliação da oficina, demonstrando não só a coerência dos objetivos da ação com as competências desenvolvidas, mas também a da metodologia de ensino com os objetivos de aprendizagem da oficina de formação, apontando, ainda, os seus pontos fortes e os pontos fracos.

Na expectativa de que estas ações de formação possam vir a ser muito participadas e, por conseguinte, possam também marcar um auspicioso início desta nova atividade da RISCOS, estamos certos de que elas darão um importante contributo e um forte impulso à Educação para a Redução do Risco.

XII ENCONTRO NACIONAL DE RISCOS

Luciano Lourenço

Departamento de Geografia e Turismo, NICIF, CEGOT e RISCOS
 Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra (Portugal)
 ORCID 0000-0002-2017-0854 luciano@uc.pt

147

Ana Gomes

Centro de Investigação da Terra e do Espaço
 Universidade de Coimbra (Portugal)
 ORCID 0000-0001-7005-4870 ana.im.gomes78@gmail.com

Após a reformulação introduzida na periodicidade com que passaram a realizar-se as diferentes reuniões científicas da RISCOS (Congressos Internacionais, Simpósios Ibero-Afro-Americanos, Encontros Nacionais,...) e tendo em conta que a realização dos Encontros Nacional de Riscos se passou a revestir de carácter anual, associado a um evento que permita “Aprender com o passado”, o próximo Encontro irá decorrer em Faro, no Auditório da Escola Secundária João de Deus, a 27 de abril de 2019, sob a temática do “Risco sísmico. Aprender com o passado” (fig. 1).

A razão que presidiu à escolha do tema teve a ver com o facto de Portugal, ao longo da sua história, ter sido palco de diversos eventos sísmicos dos quais se destaca o tremor de terra de 1755, com maremoto associado, o qual provocou a destruição de Lisboa e causou elevados danos na região algarvia e do golfo de Cádiz e um profundo abalo na consciência política e social da altura. As medidas levadas a cabo por Marquês de Pombal para a reconstrução da capital do país foram inovadoras e de reconhecido mérito.

Todavia, depois disso, Portugal foi afetado por mais eventos sísmicos catastróficos, com perdas humanas e elevados danos materiais.

O tremor de terra que ocorreu ao final da tarde do dia 23 de Abril de 1909, com origem no sistema de falhas do Vale do Tejo e que afetou especialmente a região de Benavente e Samora Correia, foi o que causou maior número de vítimas no século XX em Portugal, enquanto que o sismo de 28 de Fevereiro de 1969, com epicentro a cerca de 200 km a sudoeste de Sagres e sentido em todo o país, foi o de maior magnitude desse século.

Ora, quando se fala no sismo de Benavente, é incontornável não falar de um grande geólogo, Léon Paul Choffat, pois a ele se deve a primeira carta macrossísmica de Portugal, efetuada com base nos efeitos sentidos devido ao evento de 23 de Abril de 1909, assim como vários dos trabalhos que constituíram a base de muitos outros estudos sobre a Geologia de Portugal. Paul Choffat, tendo nascido a 14 de Maio de 1849 na Suíça, veio para Portugal em 1878. onde residiu até à sua morte a 06 de Junho de 1919.

Fig. 1 - Reprodução do cartaz de divulgação do XII Encontro Nacional de Riscos.

Fig. 1 - Reproduction of the poster of the XII National Meeting of Risks.

Outro importante tremor de terra, registado na região de Pokuplje, situada 39 km a sueste de Zagreb, a 8 de Outubro de 1909, por isso, também há 110 anos, permitiu a Andrija Mohorovičić a descoberta de uma descontinuidade nas propriedades mecânicas dos materiais geológicos, que marca a transição entre a crosta e o manto da Terra. Ganhou fama ao postular a existência dessa descontinuidade, ao ponto de ter ficado conhecida como descontinuidade de Mohorovičić, ou simplesmente de Moho.

Por todas estas razões, a escolha temática para o XII Encontro Nacional de Riscos não poderia ser outra que

não a do Risco Sísmico, não só pelas efemérides relativas aos tremores de terra de Benavente e de Pokuplje (110 anos), bem como do sismo de 1969 (50 anos), mas também pelas celebrações dos 110 anos da descoberta da descontinuidade de Moho e dos 100 anos da morte de Paul Choffat, pelo que está em causa a junção de muitas memórias num único ano.

Por outro lado, o local escolhido para a sua realização poderia ser qualquer um dos mais significativos em termos de risco sísmico. A primeira hipótese foi a da sua realização em Benavente, mas a Câmara Municipal entendeu não se associar a esta iniciativa e, por conseguinte, pensou-se noutra local. Também faria sentido que pudesse realizar-se em Lisboa, mas tendo em conta que o último Encontro Nacional de Riscos ocorreu nessa cidade e como importa ir variando, optou-se pelo Algarve, uma vez que em conjunto com o vale do Tejo, é uma das regiões com maior sismicidade, em Portugal continental.

Acresce, ainda, em termos da escolha temática, que a reflexão à volta das manifestações do risco sísmico permite juntar várias áreas do conhecimento e da sociedade, por forma a refletir sobre o que aprendemos com o passado, analisar as melhorias verificadas desde

então e perceber o que ainda é necessário fazer para potencializar a resiliência das populações.

Assim, com a realização deste encontro pretende-se colocar a comunidade científica, os agentes de proteção civil, os órgãos de soberania regionais/locais, os professores e a população em geral, a refletir sobre o que fazer em caso de catástrofes deste tipo, aprendendo com o passado para melhorar o presente e o futuro, tomando consciência de que, cada dia que passa, estamos mais próximos de um evento devastador.

Neste encontro irá discutir-se a forma como a sociedade encara estes fenómenos naturais e se está melhor informada e preparada para os enfrentar do que estava no passado. Ir-se-á refletir também sobre o modo como estes conteúdos são abordados atualmente nos diversos níveis de ensino não superior, sobre a forma como tais conceitos são apreendidos pelos alunos e sobre como agir para incutir à sociedade a necessidade de a tornar mais resiliente a tais riscos geológicos.

A história da ciência, assim como os seus protagonistas, têm um papel fundamental na evolução do conhecimento, razão pela qual esta temática também fará parte integrante do Encontro, por forma a complementar e consolidar toda a aprendizagem decorrente do passado.

LOS INCENDIOS FORESTALES EN EXTREMADURA (1968-2013).
EVOLUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Fernando Pulido

Universidad de Extremadura (España)
ORCID 0000-0001-5620-1918 nando@unex.es

149

Extremadura, como las regiones vecinas portuguesas, sufre en las últimas dos décadas incendios forestales de grandes dimensiones con efectos ambientales catastróficos y gravísimos riesgos para la población del medio rural. Se trata de un fenómeno nuevo en términos históricos y que se desarrolla precisamente en un periodo de incremento en los recursos destinados a prevención y extinción. En este escenario, una tesis doctoral que caracteriza los regímenes espacial y temporal de incendios en una región mediterránea modelo, de 42.000 kilómetros cuadrados de extensión, resulta especialmente bienvenida (fig. 1). Pero lo es mucho más si para ello se aplican técnicas analíticas avanzadas a una base de datos oficiales de gran calidad y además mejorada gracias al trabajo casi artesanal de la autora. Se trata ante todo de una tesis metodológica que despliega un notable arsenal geoestadístico capaz de detectar patrones geográficos útiles en la planificación de los esfuerzos de prevención y extinción.

El primero de los patrones destacados en la tesis es el que evidencia un cambio de régimen reciente en la distribución estacional de los incendios, que ahora se extienden más allá de los meses centrales del verano e incluyen también el final del invierno, probablemente en relación con actividades ganaderas o cinegéticas que requieren la sustitución de matorral por pastos. Asimismo, los incendios de larga duración (más de cinco días) aumentan también su frecuencia en los últimos años.

En cuanto a los patrones espaciales, las zonas con mayor probabilidad de ignición coinciden con comarcas montañosas del norte de la región (donde se han dado recientemente más grandes incendios) debido al predominio de modelos de combustible de alta inflamabilidad y la abundancia de zonas de contacto urbano-forestal o cultivo-forestal. Las dehesas y los regadíos son, por el contrario, zonas de bajo riesgo con modelos de combustible 1 y 2. Destaca, finalmente, la asociación de una alta frecuencia de igniciones con los grandes ejes de comunicación y la red de pistas forestales.

En el periodo considerado (1968-2013) la causalidad de los incendios es muy variable pero destacan (41 %) los siniestros intencionados, que en general se asocian a prácticas agroganaderas. A lo largo del tiempo, se reduce significativamente la fracción de incendios de causa desconocida al identificarse con mejoras en la investigación causas asociadas a negligencias o intencionales.

El análisis de los parámetros internos de los incendios forestales permite a la autora identificar distintos tipos de régimen: la ausencia de incendios, los fuegos moderados, las zonas de alta probabilidad de ignición y las de gran extensión de incendios. Los modelos descritos permiten identificar las variables del territorio que en mayor medida determinan la aparición de incendios

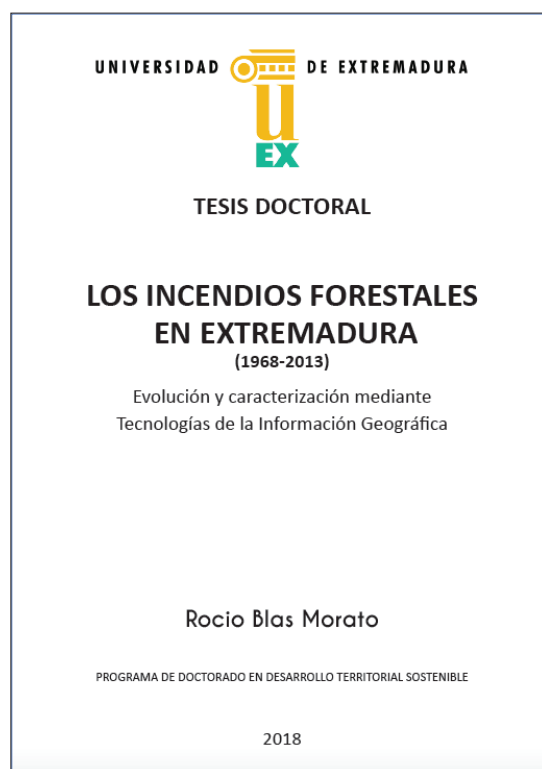


Fig. 1 - Portada de la tesis de Rocio Blas Morato.

Fig. 1 - Cover of the thesis of Rocio Blas Morato.

* Este título corresponde a la Tesis Doctoral presentada por Rocio Blas Morato y dirigida por los Dr. José Luis Gurría Gascón y Dr. José Manuel Sánchez Martín, que fue juzgada en la Universidad de Extremadura, el 25 de septiembre de 2018, delante de un tribunal presidido por la Dr.ª Cristina Montiel, teniendo como secretario el Dr. Fernando Pulido y el Dr. Luciano Lourenço como vocal y que fue aprobada con la calificación de: Sobresaliente *Cum laude*.

forestales y contribuyen así a mejorar la planificación. Las restricciones de acceso a los bosques en época de alto riesgo, la disminución de la carga de combustible en las zonas de interfaz, la conservación de los mosaicos agroganaderos y el control estratégico de los espacios con modelos 4 y 7 se presentan como actuaciones clave en la prevención y extinción.

El capítulo dedicado a la modelización de los grandes incendios forestales (GIF) muestra la importancia clave de los modelos de combustible y las zonas de contacto urbano-forestal, lo que da lugar a una cartografía predictiva de estos eventos catastróficos que combina el riesgo estadístico de incendios comprobados con el riesgo estructural basado en variables territoriales predictoras. Así, las zonas de riesgo alto, muy alto y extremo comprenden el 16 % del territorio y nuevamente

se asocian a las zonas de montaña con alta presencia de ecotonos urbano-forestales.

Cabe finalmente preguntarse por el potencial de estos resultados, muy útiles en la comprensión de un fenómeno relativamente nuevo y aparentemente creciente, para ser transferidos al ámbito administrativo donde deben ser aplicados. Creemos que existe un amplio margen para la mejora de las herramientas utilizadas por las administraciones para la cartografía y priorización de recursos en las zonas de alto riesgo, para la metodología de registro de los eventos y su cartografía, y para introducir en las estrategias de prevención multitud de actividades de “prevención social” llevadas a cabo por agricultores, ganaderos y gestores forestales cuya gestión genera discontinuidades en el combustible forestal que deben ser tenidas en cuenta.

INCENDIOS FORESTALES. REFLEXIONES DESDE GALICIA

Francisco Díaz-Fierros Viqueira

Profesor Emérito de la Universidad de Santiago de Compostela (España)

ORCID 0000-0003-3690-2172 francisco.diaz-fierros@usc.es

151

Existen años en los que la problemática de los incendios forestales se convierte en la preocupación fundamental de los gallegos. Esto sucedió el pasado 2017, como antes había ocurrido en el 2006 o el 1989, por citar solo a los más sobresalientes. El fuego en los montes pasaba a ser la noticia fundamental que abría los periódicos y los telediarios y por el país se extendía un sentimiento de rabia, indignación e impotencia que lo impregnaba todo. Se discutía con pasión el porqué y se defendían teorías de todo tipo en la búsqueda de soluciones. Al final siempre se pretendía encontrar por activa o por pasiva a algún responsable individual o colectivo del desastre.

En otros años, en los que los incendios forestales no eran tan relevantes, seguían ardiendo los montes y el fenómeno se aceptaba con una cierta resignación: siempre fue así y poco o nada se puede hacer para que desaparezca. Después de todo, una parte de nuestro paisaje era consecuencia de un largo proceso histórico de convivencia con el fuego y, por otro lado, nuestra pródiga naturaleza siempre tenía capacidad para renovarlo todo y convertir en manto verde lo que antes eran cenizas y rescoldos.

Sin embargo, en los últimos años comienzan a escucharse voces, y en este 2017 de una forma especial, que nos hablan de que se está apreciando una tendencia en los incendios forestales hacia situaciones cada vez más graves e incontrolables. Se cita al cambio climático, a un urbanismo desarticulado creciente, a la falta de medidas de prevención... En cualquier caso es algo que, aunque sea puntualmente, desborda todos los medios concebibles de combate y control del fuego.

A estas y a otras preguntas trata de aportar respuestas este libro, concebido por la Editorial Hércules (fig. 1) a finales del otoño de 2017 cuando apenas se habían extinguido las llamas y se había disipado la humareda que asoló las tierras meridionales de este país y cuando todavía resonaban los ecos de la tragedia de nuestro vecino y querido Portugal.

El libro se abre con una descripción histórica del uso (y abuso) del fuego en Galicia que sitúa los acontecimientos actuales como el final de un largo proceso donde una convivencia tranquila con este elemento se alternaba con fases de consecuencias más dramáticas y dañinas como la última que estamos padeciendo, la más grave de todas, que se inicia con la desarticulación del sistema agro forestal en torno a los años sesenta del pasado siglo.

A esta problemática socioeconómica se le dedican los dos capítulos siguientes en un intento de comprender cómo el abandono masivo del campo y políticas poco acertadas en relación con el sector forestal podían estar en la base de muchos de los problemas actuales.

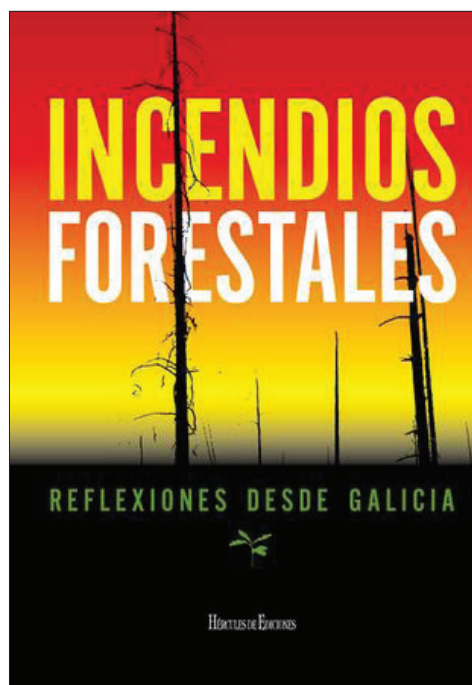


Fig. 1 - Portada del libro Incendios Forestales.

Fig. 1 - Forest Fire front cover book.

Siguen los temas que intentan afrontar el futuro, con el análisis de las diferentes alternativas que fueron propuestas para la solución de estos problemas y que los acontecimientos del 2017 pusieron de inquietante actualidad; como es la cuestión de los incendiarios, tema recurrente y pasional, donde solo la racionalidad del sistema policial y legal puede introducir alguna luz. También las medidas de lucha y prevención del fuego así como de los daños a bienes y personas son objeto de un estudio en el que la importante experiencia acumulada en los últimos años aporta datos y reflexiones que nos deberían llevar hacia a la adopción de medidas eficaces y sostenibles en el tiempo. Unas, dedicadas a la prevención a largo plazo mediante técnicas silvícolas que armonicen el lógico y legítimo derecho al beneficio económico con la conservación de los espacios de bosque tradicional

(fig 2),y otras, orientadas a controlar el daño que el fuego produce más allá de las pérdidas de biomasa, sobre los suelos y el agua.



Fig. 2 - Aspecto de bosque gallego.

Fig. 2 - Galician forest appearance.

Los dos últimos capítulos se refieren a la educación y a la responsabilidad social de los gallegos, aspectos singulares y decisivos en la lucha contra el fuego ya que el problema, al final, se reduce a la cuestión de qué intereses entran en juego en la premeditación o el descuido incendiario o qué valores determinan la pasividad, resignación o incluso, la frivolidad y la improvisación, con la que muchas veces se encaran estos problemas desde la opinión pública. En la medida en que sepamos transmitir a las nuevas generaciones y a la sociedad gallega en general un decidida responsabilidad frente a los valores del monte y se logre una toma de conciencia colectiva firme y documentada sobre los caminos a seguir, se habrán dado ya los pasos adecuados para la solución de este complejo y difícil reto.

Este libro se escribió bajo la impresión de las imágenes todavía vivas de unas llamas que caminaban con una velocidad inusitada desde la frontera portuguesa hasta Terra de Montes, de unas pavesas que volaban y prendían en espacios inéditos de la ciudad de Vigo o de unos fuegos que con demoledora persistencia arrasaban las cumbres de las sierras ourensanas. Pero también con la responsabilidad de los muchos años que la mayoría de los autores de este libro llevan cupándose del problema de los incendios forestales en Galicia. Son diferentes miradas expertas (fig. 3), estimuladas por las emociones de este

desgraciado año 2017, redactadas bajo la urgencia del momento, pero también atemperadas y contrastadas por las muchas experiencias y reflexiones a que dieron lugar todos los fuegos que fueron asolando Galicia en esta última y larga etapa incendiaria de su historia.

Índice	
Presentación p. 7	Incendios forestales El delito de incendio y la acción de la fiscalía Alvaro García Ortiz p. 116
Perspectiva histórica de los incendios forestales en Galicia Francisco Díaz-Fierros Viqueira p. 10	Medidas de atenuación de los daños post-incendio en Galicia José A. Vega, Cristina Fernández, Teresa Fontúrbel p. 136
Desestructuración del medio rural, usos del suelo y gestión del territorio El contexto de fondo del problema de los incendios en Galicia Edelmiro López Iglesias p. 26	El reto educativo de los incendios forestales De la percepción social del riesgo a la acción comunitaria Miguel Pardellas Santiago, Concepción Colago, Francisco Castro Rego, Pablo Ángel Meira Cartea p. 176
Los incendios y la repoblación forestal pública en Galicia, 1909-1975 Eduardo Rico Boquete p. 48	Del compromiso social a la acción La lucha contra los incendios forestales en Galicia Xosé Luis Barreiro Rivas p. 198
Extinción y protección de bienes y personas Tomás Fernández-Couto Juana, Manuel Ángel Gil Canabal p. 68	Los autores p. 213
Selvicultura preventiva Juan Picos Martín p. 92	Bibliografía p. 219

Fig. 3 - Detalle del índice.

Fig. 3 - Detail of the index.



Fig. 4 - Verso de la portada del libro.

Fig. 4 - Forest Fire back cover book.

NOTA DE ABERTURA

Luciano Lourenço	3
------------------------	---

ARTIGOS

Miguel Castillo S., Jorge Saavedra S. y Jordi Brull B. Severidad del fuego en los mega incendios forestales ocurridos en Chile, en 2017. Acciones para mejorar el sistema de protección	5
Tercia Strydom and Stephen A. Midzi Evolving fire management strategies and their impact on the occurrence and spatial extent of unplanned wildfires in a large African Savanna Park	19
Giovanni Laneve and Lorenzo Fusilli High resolution fire hazard index based on satellite images	29
Liana O. Anderson, Victor Marchezini, Thiago F. Morello e Christopher A. Cunningham Modelo conceitual de sistema de alerta e de gestão de riscos e desastres associados a incêndios florestais e desafios para políticas públicas no Brasil	43
Maria de Fátima Duarte Tavares, Bruno Nakagomi, Vânia Soares, Leonardo Castro Botega e Vânia Paula de Almeida Nerisa Paisagens protegidas e incêndios florestais em Brasília: produção voluntária de informações geográficas e sistema de alerta	63
Arlon Cândido Ferreira, Leonardo Cristian Rocha, Múcio do Amaral Figueiredo, Francielle da Silva Cardozo e Ivair Gomes O impacto dos incêndios florestais na geodiversidade da serra do Lenheiro - São João del-Rei/MG - Brasil	87
Francisco Díaz-Fierros Viqueira Incendios forestales en Galicia y Portugal: una perspectiva histórica	97
Rocio Blas y Luciano Lourenço Incendios forestales en espacios de frontera. Análisis de patrones espaciales en paisajes de montaña de la Raya Central Hispano-Lusa	115
Aline Cavalli, Tomás de Figueiredo, Felícia Fonseca e Zulimar Hernández Incêndios e áreas ardidas nos últimos 25 anos no distrito de Bragança, Portugal: análise e estimativa de consequências para o recurso solo	123

NOTAS

Tatyana Belkova, Valeriy Perminov, Nikolay Alekseeva Improvement of a technique to assess ecological damage to the atmosphere from wildfires	133
--	-----

NOTÍCIAS

Carla Boto Pereira XI Encontro Nacional de Riscos: Incêndios em estruturas. Aprender com o passado	137
Fátima Velez e Luciano Lourenço Prêmios “Ciência” e “Operacionalidade” - 2017	141
Paulo Campos, Isabel Madeira e Romero Bandeira II Jornadas de Defesa + Saúde	143
Luciano Lourenço Ações de formação para professores. De acordo com o referencial de educação para o risco dos ensinos pré-escolar, básico (1.º, 2.º e 3.º ciclos) e secundário	145
Luciano Lourenço XII Encontro Nacional de Riscos	147

RECENSÕES

Fernando Pulido Los incendios forestales en Extremadura (1968-2013). Evolución y caracterización mediante Tecnologías de la Información Geográfica	149
Francisco Díaz-Fierros Viqueira Incendios forestales. Reflexiones desde Galicia	151



RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

I
IMPRESSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
COIMBRA UNIVERSITY PRESS
U