

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

**Modelação da propagação de incêndios  
florestais.  
Análise Bibliométrica**

Tiago Manuel Gonçalves Brito

**RSP**

2024/2025



Tiago Manuel Gonçalves Brito

# **Modelação da propagação de incêndios florestais.**

## **Análise Bibliométrica**

Relatório de Seminário de Projeto realizado no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientado pela Professora Doutora Susana da Silva Pereira.

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

2024/2025

# Índice

Resumo .....	4
Abstract .....	5
Índice de Figuras.....	6
Índice de Tabelas.....	7
1. Introdução.....	8
1.1.A floresta Portuguesa .....	10
1.2.Os incêndios rurais em Portugal e no Alto Minho .....	11
1.3.Glossário de Conceitos.....	14
1.4.Modelos de propagação.....	15
1.5.FlamMap.....	17
2. Metodologia .....	18
3. Resultados .....	20
3.1.Evolução da produção científica.....	20
3.2.Principais autores e afiliações .....	24
3.3.Principais fontes de informação .....	30
3.4.Documentos mais importantes.....	32
3.5.Principais conceitos .....	33
4. Conclusão ou Considerações Finais.....	37
Referências Bibliográficas .....	40

## **Resumo**

Portugal é um dos países do sul da Europa mais severamente afetados pelos incêndios florestais, resultando em significativos prejuízos humanos e materiais. A modelação da propagação de incêndios florestais é essencial para mitigar esses danos. Este estudo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a modelação da propagação de incêndios florestais, realizar uma análise bibliométrica para identificar tendências e lacunas na pesquisa, analisar a evolução da produção científica, identificar os principais autores e afiliações, determinar as principais fontes de conhecimento e documentos mais importantes, e identificar os principais termos utilizados na literatura. Foi aplicada uma análise bibliométrica de publicações relevantes para identificar padrões e avanços na modelação de incêndios. As publicações foram retiradas das bases de dados Scopus e Web of Science com base em critérios de pesquisa. Utilizou-se o software RStudio para excluir duplicações e construir uma base de dados única. Posteriormente, essa base foi analisada no Bibliometrix para identificar padrões na bibliografia, como os autores mais importantes, a evolução do tema, e as instituições mais relevantes.

O estudo revelou um crescimento significativo na produção científica sobre modelação de incêndios florestais, com os Estados Unidos liderando em número de publicações e citações. Autores como Ager A. e Stephens S. são os mais influentes, e revistas como International Journal of Wildland Fire e Forest Ecology and Management são as principais fontes de informação. Desde os anos 2000, especialmente após 2011, houve um aumento exponencial do interesse sobre o tema. A colaboração entre autores e a participação global, embora desigual, são fundamentais. Os temas principais incluem incêndios florestais, vegetação e gestão ambiental. Os modelos de propagação são um campo em desenvolvimento, com publicações destacadas e várias redes de colaboração.

**Palavras-chave:** Modelação de incêndios, FlamMap, gestão de combustível, Alto Minho, análise bibliométrica

## **Abstract**

Portugal is one of the southern European countries most severely affected by forest fires, resulting in significant human and material damage. Modelling the spread of forest fires is essential to mitigate this damage. This study aims to carry out a bibliographic review of forest fire propagation modelling, perform a bibliometric analysis to identify trends and gaps in research, analyse the evolution of scientific production, identify the main authors and affiliations, determine the main sources of knowledge and most important documents, and identify the main terms used in the literature. A bibliometric analysis of relevant publications was applied to identify patterns and advances in fire modelling. Publications were retrieved from the Scopus and Web of Science databases based on search criteria. RStudio software was used to exclude duplicates and build a single database. This database was then analysed using Bibliometrix to identify patterns in the bibliography, such as the most important authors, the evolution of the topic and the most relevant institutions.

The study revealed a significant growth in scientific production on forest fire modelling, with the United States leading the way in terms of number of publications and citations. Authors such as Ager A. and Stephens S. are the most influential, and journals such as the International Journal of Wildland Fire and Forest Ecology and Management are the main sources of information. Since the 2000s, especially after 2011, there has been an exponential increase in interest in the subject. Collaboration between authors and global participation, although uneven, are fundamental. The main topics include forest fires, vegetation and environmental management. Propagation models are a developing field, with prominent publications and various collaborative networks.

**Key-words:** Fire modelling, FlamMap, Fuel Management, Alto Minho, Bibliometric Analysis

## **Índice de Figuras**

FIGURA 1. PRODUÇÃO CIENTÍFICA ANUAL (1978-2024) .....	21
FIGURA 2. PRODUÇÃO CIENTÍFICA POR PAÍS (1978-2024). ....	22
FIGURA 3. PRODUÇÃO CIENTÍFICA ANUAL POR PAÍS (1978-2024).....	23
FIGURA 4. PAÍSES MAIS CITADOS. ....	24
FIGURA 5. IMPACTO DOS AUTORES COM BASE NO ÍNDICE H.....	25
FIGURA 6. NÚMERO DE ARTIGOS E TC ANUAL DOS AUTORES AO LONGO DO TEMPO (1978-2024).....	26
FIGURA 7. NÚMERO DE DOCUMENTOS POR AUTORES.....	27
FIGURA 8. REDE DE COLABORAÇÃO ENTRE AUTORES. ....	28
FIGURA 9. PRODUÇÃO ANUAL ACUMULADA DE ARTIGOS POR AFILIAÇÃO (1978-2018). ....	30
FIGURA 10. NÚMERO DE DOCUMENTOS POR REVISTA (1978-2024) .....	31
FIGURA 11.IMPACTO DAS REVISTAS CIENTÍFICAS POR ÍNDICE H .....	32
FIGURA 12. DOCUMENTOS MAIS CITADOS GLOBALMENTE. ....	33
FIGURA 13. REDE DE OCORRÊNCIA DOS TERMOS RELACIONADOS À PESQUISA. ....	34
FIGURA 14. PALAVRAS-CHAVE MAIS RELEVANTES. ....	35
FIGURA 15. NUVEM DE PALAVRAS COM AS PALAVRAS-CHAVE. ....	36
FIGURA 16. MAPA TEMÁTICO DOS CONCEITOS UTILIZADOS .....	37

## **Índice de Tabelas**

TABELA 1. CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO 2018 .....	10
TABELA 2. NÚMERO DE OCORRÊNCIAS E ÁREA ARDIDA, ENTRE 2003 E 2023, EM PORTUGAL CONTINENTAL .....	12
TABELA 3. NÚMERO DE OCORRÊNCIAS E ÁREA ARDIDA ENTRE 2003 E 2023 NO ALTO MINHO .....	13

## 1. Introdução

Portugal é um dos países do sul da Europa mais fustigados pelos incêndios rurais (Bergonse et al., 2022). Estes têm assolado todo o território nacional, sendo responsáveis por elevados prejuízos humanos e de bens materiais. Segundo o relatório de atividades do Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais de 2023 , foram registados 7 523 incêndios rurais, resultando numa área ardida de 34 509 ha (AGIF, 2023). Comparando a média do período compreendido entre 2001 e 2017 (161 437 ha) com a média do período de 2018 a 2023 (54 439 ha), observa-se uma diminuição de 66% das áreas ardidas (AGIF, 2023).

Em 2023, a maior parte da área ardida em Portugal correspondeu aos povoamentos florestais (56%), seguida por matos (38%) e os restantes 6% correspondem às áreas agrícolas (AGIF, 2023).

Portugal é anualmente afetado por inúmeros incêndios rurais, sobretudo durante a estação seca, os quais provocam graves consequências ao nível social, económico e ambiental. Segundo o Inventário Nacional Florestal (ICNF, 2019), os espaços florestais (florestas, matos e terrenos improdutivos) ocupam 6,2 milhões de hectares (69,4%) do território nacional continental.

A floresta, que inclui terrenos arborizados e temporariamente desarborizados (superfícies cortadas, ardidas e em regeneração), constitui o principal uso do solo nacional (36%) (ICNF, 2019). Apesar da tendência de diminuição da área florestal, que se registava desde 1995, esta inverteu-se em 2015, registando-se um aumento de 60 mil ha (1,9%) face a 2010, data da última avaliação (ICNF, 2019).

O fogo apresenta-se como um importante fator nas dinâmicas de vários ecossistemas terrestres (Ventura & Vasconcelos, 2006). “*O fogo não pode e não deve eliminar-se por completo. É um fenómeno natural que faz parte da estratégia de desenvolvimento de algumas espécies e da renovação da paisagem, fenómeno que modela as florestas e que é anterior às tentativas do Homem para lhe fazer frente, na sua conquista de territórios.*” (Verde, 2008, p. 1).

Para que um incêndio se inicie e se propague, é necessário haver material combustível, condições meteorológicas adequadas e fontes de ignição (Ventura & Vasconcelos, 2006). A vegetação e as condições meteorológicas (temperatura, humidade relativa do ar, direção e velocidade do vento) são influenciadas pelas características edafoclimáticas e topográficas de cada região (Ventura & Vasconcelos, 2006).

Os fatores que influenciam o comportamento dos incêndios são vários, como as características dos combustíveis, especialmente a carga, tamanho, continuidade, quantidade dos combustíveis finos e mortos e, por fim, a humidade (Esteves, 2020). Outro fator importante são as características do relevo, como a altitude, declives e a exposição das vertentes (Esteves, 2020).

Além disso, uma grande parte das ignições de fogos está principalmente dependente da atividade humana (Ventura & Vasconcelos, 2006). Assim sendo, é imprescindível analisar as fontes de ignição, os fatores condicionantes que contribuem para a sua propagação e avaliar o comportamento do fogo. Neste contexto, é necessária uma avaliação da perigosidade e da suscetibilidade das áreas em estudo. Torna-se imperativo a construção de cartografia de risco de incêndio florestal para a identificação das áreas mais suscetíveis a este fenômeno (Amador, 2014).

A avaliação do risco de incêndios florestais e as atividades de gestão de combustível tornam-se essenciais para a redução dos danos provocados pelos incêndios florestais (Ager et al., 2011). Os objetivos deste trabalho são os seguintes:

1. Analisar a evolução da produção científica sobre a propagação de incêndios florestais ao longo do tempo.
2. Identificar os principais autores e suas afiliações, e analisar como eles se relacionam entre si.
3. Determinar as principais revistas científicas que publicam sobre o tema da propagação de incêndios florestais.
4. Identificar os artigos mais importantes sobre a propagação de incêndios florestais.

- Perceber os principais conceitos relacionados à propagação de incêndios florestais e analisar como eles se inter-relacionam.

### **1.1. A floresta Portuguesa**

Segundo a Carta de Uso e Ocupação do Solo de 2018 as florestas ocupam cerca de 5,48% do território nacional, a segunda maior ocupação do território nacional (tabela 1).

Tabela 1. Carta de Uso e Ocupação do Solo 2018

Nível 1 Cos	Área em km <sup>2</sup>	Percentagem de Ocupação
Agricultura	578,0	2,36
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	137,9	0,56
Florestas	1343,6	5,48
Massas de água superficiais	21115,3	86,04
Matos	847,7	3,45
Pastagens	14,0	0,06
Territórios artificializados	498,8	2,03
Zonas húmidas	4,6	0,02

Conforme 6º Inventário florestal Nacional, a floresta nacional é na grande maioria constituída por espécies florestais autóctones (72%), no entanto algumas ocupam áreas maiores que a sua origem geográfica (ICNF, 2019).

A Floresta em Portugal continental organiza-se sobretudo em quatro grandes grupos ou formações florestais: pinhais (constituídos por povoamentos de pinheiro-bravo e pinheiro-manso); folhosas perenifólias (“montados”, sobreirais e azinhais); folhosas caducifólias (carvalhos, castanheiros e outras); e as folhosas silvo-industriais (eucaliptais) (ICNF, 2019).

Os “montados”, sobreira e azinhais ocupam cerca de 1/3 da floresta com uma área de cerca de 1 085 mil ha (34% da floresta) (referencia). Os pinhais são o segundo grupo florestal com mais área (959 mil ha) ocupam 30% da floresta, contudo também apresentam a maior redução na área que ocupam (referencia). O grupo das folhosas caducifólias apresentam a menor representação florestal com uma área ocupada de 320 mil ha (10% da floresta). Por fim os eucaliptais ocupam 845 mil ha cerca de 26% da floresta continental (ICNF, 2019).

Na sub-região do Alto Minho as florestas ocupam 71,85 mil ha (32% da área) os matos e as pastagens ocupam 72,83 mil ha (33% da área) e os improdutivos ocupam 15,18 mil ha (7% da área) (ICNF, 2019).

A espécie que predomina na sub-região é os eucaliptos com 25,45 mil ha (35,4 % da floresta) depois é o pinheiro-bravo que ocupa 24,28 mil ha (34% da floresta). Os carvalhos ocupam 8,16 mil ha o que corresponde a 11% da floresta e as outras folhosas que ocupam 11,73 mil ha (16% da floresta). A espécie que apresenta a menor representação é o pinheiro-manso com 0,05 mil ha cerca de 0,1% da floresta (ICNF, 2019).

## **1.2. Os incêndios rurais em Portugal e no Alto Minho**

Entende-se por incêndio florestal um fogo incontrolado que ocorre em florestas, matas e outros espaços com vegetação abundante, como matos, áreas de incultos e áreas agrícolas (Castro et al., 2003). Estes incêndios são comuns em regiões de clima mediterrânico, especialmente em dias quentes e secos, e são frequentemente exacerbados por ventos fortes (Julião et al., 2009). Embora possam ser causados por fenómenos naturais, como trovoadas secas, a maioria dos incêndios florestais resulta de negligência humana e, muitas vezes, de atos criminosos (Julião et al., 2009).

*“Portugal está no topo dos países europeus mais afetados pelos incêndios florestais”* (Julião et al., 2009, p. 884). No período de 20 anos (2003 até 2023), segundo os dados disponibilizados pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) em Portugal Continental arderam cerca de 2 709 158 hectares de espaços florestais. Os anos mais críticos em termos de área ardida foram 2003, 2005 e 2017. Em

2003 arderam 439 908,8 ha de área ardida, em 2005 arderam 346 362,7 ha e em 2017 arderam 561 009,8 ha (tabela 2). Estes valores podem ser devido ao clima em 2003 Portugal foi atingido por uma onda de calor entre 29 de julho e 14 agosto foi um acontecimento excepcional, com temperaturas altas e baixas muito elevadas e os valores de humidade relativa também baixos. Em 2005 o país estava a passar por uma situação de seca extrema. O ano de 2017 foi classificado como extremamente quente e extremamente seco.

No que diz respeito ao número de ocorrências estas tem vindo a diminuir ao longo dos 20 anos. Destacam-se os anos de 2005 com 41 689 ocorrências, 2009 com 29 783 ocorrências e 2011 com 29 782 ocorrências sendo os anos em que foram registados o maior número de ocorrências.

Tabela 2. Número de Ocorrências e Área Ardida, entre 2003 e 2023, em Portugal Continental

Ano	Área ardida (ha)	Nº Ocorrência
2003	439 908,8	28 087
2004	114 970,1	27 829
2005	346 362,7	41 689
2006	72 681,6	24 243
2007	38 321,4	25 132
2008	11 961,3	18 959
2009	93 197,4	29 783
2010	131 268,3	26 113
2011	80 229,3	29 782
2012	113 576,0	25 352
2013	149 339,6	23 129
2014	18 326,7	9 388
2015	56 401,7	19 643
2016	158 293,0	16 104
2017	561 009,8	21 006
2018	40 279,5	12 274
2019	40 189,6	10 832
2020	66 167,1	9 619
2021	27 374,6	8 186
2022	115 148,6	10 390
2023	34 151,1	7 523
Total	2 709 158,4	425 063

Consoante o Relatório de Atividades do Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais a região Norte é uma das que apresenta mais ocorrências registadas. Do total de ocorrências entre 2018 e 2023 (58 992) 54% ocorreram na região Norte do país. Do top 10 dos concelhos com mais ocorrências entre 2018 e 2023, Arcos de Valdevez ocupa o 7º lugar com 877 ocorrências (AGIF, 2023).

*“O Alto Minho é uma região do Norte de Portugal, situada no noroeste da Península Ibérica que é uma das regiões da Europa onde a recorrência do fogo é maior.”* (de Oliveira & Fernandes, 2023, p. 1). Conforme os dados oficiais do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) a sub-região do Alto Minho registou entre 2003 e 2023 uma área ardida de 164 682,6 hectares resultante de 26 405 ocorrências estas são sobretudo fogos florestais. Os anos mais críticos em termos de área ardida foram 2005, 2016 e 2010. Em 2005 arderam 27 740,1 ha de área ardida, em 2016 arderam 26 838,8 ha e em 2010 arderam 24 592,6 ha (tabela 3). No que diz respeito ao número de ocorrências estas tem vindo a diminuir ao longo dos 20 anos. Destacam-se os anos de 2005 com 2 597 ocorrências, 2011 com 2 428 ocorrências e 2010 com 2 269 ocorrências sendo estes os anos em que foram registados o maior número de ocorrências.

Tabela 3. Número de Ocorrências e Área Ardida entre 2003 e 2023 no Alto Minho

Ano	Área ardida (ha)	Nº Ocorrência
2003	708,0	1 008
2004	2 828,8	1 657
2005	27 740,1	2 597
2006	14 744,0	1 116
2007	2 959,5	1 366
2008	192,8	691
2009	5 181,6	2 059
2010	24 592,6	2 269
2011	5 989,9	2 428
2012	4 175,4	1 331
2013	12 128,0	1 882
2014	846,9	382
2015	9 874,1	1 321
2016	26 838,8	1 109
2017	9 249,8	1 163

2018	1 528,3	893
2019	1 995,5	556
2020	3 477,3	606
2021	2 192,6	563
2022	4 769,9	779
2023	2 668,6	629
Total	164 682,6	26 405

### 1.3. Glossário de Conceitos

**Suscetibilidade** - A incidência espacial do perigo refere-se à tendência de uma área ser afetada por um determinado risco, sem considerar um período específico (Julião et al., 2009). Esta avaliação é feita com base nos fatores que predispõem à ocorrência dos processos ou ações perigosas, sem incluir a frequência ou a probabilidade de ocorrência desses eventos (Julião et al., 2009).

**Perigosidade** - De acordo com Varnes citado por Verde (2008, p. 15), a perigosidade expressa a probabilidade de ocorrência de um incêndio rural com uma determinada dimensão, numa área específica e dentro de um determinado período temporal. Enquanto definem a perigosidade como a potencialidade de um incêndio ocorrer, por um lado, numa determinada área e tempo e, por outro, a sua capacidade de propagação. Este conceito é, então, a probabilidade de um evento ocorrer, num determinado período temporal, e num local característico para tal.

A perigosidade segundo o Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal (2009), consiste na probabilidade de ocorrência de um processo ou ação (natural, tecnológico ou misto) com potencial destrutivo (ou para causar danos) com uma determinada severidade, numa área específica e durante um período definido (Julião et al., 2009).

De acordo Julião et al. (2009) a **exposição** refere-se à população, propriedades, estruturas, infraestruturas, atividades económicas e outros elementos em risco que estão potencialmente sujeitos a um processo perigoso (natural, tecnológico ou misto) num determinado território.

**Vulnerabilidade** refere-se ao grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, resultante da ocorrência de um processo (ou ação) natural, tecnológico ou misto de determinada severidade. Esta vulnerabilidade é expressa numa escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total) (Julião et al., 2009).

**Perigo** refere-se ao processo (ou ação) natural, tecnológico ou misto que é suscetível de causar perdas e danos identificáveis (Julião et al., 2009).

O risco consiste na probabilidade de um evento perigoso ocorrer e a avaliação das suas consequências para pessoas, bens ou o ambiente. Estas consequências são medidas em termos de danos físicos e/ou prejuízos materiais e funcionais, tanto diretos como indiretos (Julião et al., 2009).

#### **1.4. Modelos de propagação**

Os modelos de propagação apresentam-se como ferramentas importantes de análise de cenários para elaborar políticas de gestão florestal e de combustíveis (Ager et al., 2020), bem como avaliar e mapear a exposição da comunidade (Palaiologou et al., 2022).

Desta forma, um modelo de propagação é entendido como um modelo físico-matemático capaz de prever quantitativamente, em termos espaço-temporais médios, alguns aspectos físicos do comportamento natural de toda ou parte de uma frente de fogo florestal em determinadas fases da sua evolução, com base em dados de entrada sobre as partes relevantes da floresta e do ambiente circundante (André & Viegas, 2001).

Torna-se relevante fazer alguns esclarecimentos em relação a esta definição:

1. A resolução espaço-temporal que depende da capacidade dos modelos tratarem fenómenos relevantes a escalas espaciais e temporais mais pequenas como por exemplo a passagem das chamas entre arbustos próximos ou os efeitos de rajadas de vento em pequenas áreas da frente de fogo. A resolução

da informação de entrada sobre a floresta e o ambiente, bem como o detalhe desejado pelo utilizador (André & Viegas, 2001).

2. A frente de fogo, uma vez que existem modelos que se focam em pequenas secções da frente de fogo e modelos que se focam na linha completa. Estes modelos além de apresentarem a velocidade de propagação e o movimento da linha de fogo os modelos podem fornecer dados sobre os aspectos físicos do comportamento da frente de fogo. Geralmente estes não consideram a formação de focos secundários (spotting) (André & Viegas, 2001).
3. A maioria dos modelos não considera a intervenção humana no combate ao fogo, o que permite identificar focos gerados pela projeção de material em combustão. A maioria dos modelos não consideram todas as fases do fogo concentrando-se apenas no desenvolvimento isto para modelos de propagação de superfície de baixa e média intensidade. Alguns modelos mais avançados descrevem o fogo em todas as suas fases exceto a ignição e a transição de regime (André & Viegas, 2001).
4. A maioria dos modelos de propagação exclui os incêndios de grande dimensão. Além disso, é essencial incluir de forma detalhada no modelo informações sobre os combustíveis secos e finos, uma vez que estes são os principais responsáveis pela propagação da linha de fogo. Também é necessário considerar informações sobre outras partes da floresta, pois estas influenciam o comportamento do fogo (André & Viegas, 2001).

Os modelos de propagação desempenham um papel crucial e são de extrema importância visto que são ferramentas importantes para a análise de cenários e para elaborar políticas de gestão florestal e de combustíveis. Podem ser categorizados em quatro grandes grupos de utilidades:

1. Prevenção de incêndios florestais. As principais utilidades incluem a formação de combatentes através da utilização de cenários simulados ou realistas para treino, a regulamentação da floresta no ordenamento do território para reduzir o risco de incêndios florestais danosos ou difíceis de combater, e o planeamento de fogos controlados com o objetivo de reduzir

a quantidade de combustíveis finos e secos nas florestas de forma económica e sustentável (André & Viegas, 2001).

2. O combate aos incêndios. Utilizando a criação de cenários realistas e complexos com informações de entrada detalhadas e a inclusão de elementos prognósticos. Outra utilidade importante é a previsão do comportamento do fogo, através de modelos que permitem elaborar previsões em tempo inferior ao tempo real da ocorrência do fenómeno (André & Viegas, 2001).
3. A seleção de locais e a alocação de meios de combate. Utilizando a previsão do movimento da linha de fogo e das propriedades das chamas. Inclui também a avaliação dos fumos próximos da linha de frente e a grandes distâncias, bem como a avaliação da potência calorífica transmitida (André & Viegas, 2001).
4. Ferramentas auxiliares de decisão. Estas ferramentas utilizam modelos de propagação de incêndios florestais para apoiar a tomada de decisões em diversos países (André & Viegas, 2001).

## **1.5. FlamMap**

O software FlamMap (Finney, 2023) foi criado pelos Serviços Florestais dos Estados Unidos da América (USFS) e utilizado desde 2003, no acompanhamento de incêndios florestais em tempo real e na modelação da propagação de incêndios para previsão de áreas de risco com o objetivo de criar medidas de gestão dos incêndios nos Estados Unidos da América (Finney, 2023). Este software pode simular características sobre o comportamento de incêndio (taxa de propagação, comprimento da chama, intensidade da linha de fogo entre outras), crescimento e propagação do incêndio e probabilidades condicionais de queima sob condições ambientais constantes (Finney, 2023).

Este software é um sistema de mapeamento e análise de incêndio (Finney, 2006) que descreve o comportamento potencial do incêndio, em que as condições ambientais

são constantes (clima, humidade do combustível). O cálculo do comportamento do incêndio é calculado de forma independente para cada pixel dentro do arquivo paisagem (ambiente dentro do software onde são colocados os dados espaciais para executar o programa). Os cálculos do comportamento potencial do fogo abrangem a propagação de um incêndio na superfície, o comprimento da chama, o tipo de atividade de incêndio na copa. Este cálculo relaciona a humidade do combustível morto, a condição dos combustíveis mortos em cada pixel com a inclinação, sombreamento, elevação, a exposição e o clima (Finney, 2023).

O FlamMap inclui o FARSITE (Finney, 1998), o FlamMap BASIC (Finney, 2002,2006), o Minimum Travel Time (MTT) (Finney, 2001, 2006, 2007) e Conditional Burn Probability Finney (2001, 2005, 2006). O programa incorpora os seguintes modelos de comportamento do incêndio (Finney, 2023):

- Modelo de propagação de fogo de superfície de Rothermel (1972);
- Modelo de iniciação de fogo de coroa de Van Wagner (1977);
- Modelo de propagação de incêndios florestais de Rothermel (1991);
- Modelo de observação de Albini (1979);
- O método de cálculo de incêndio de coroa de Finney (1998) (Finney, 1998) ou Scott e Reinhardt (2001);
- O modelo de humidade de combustível morto de Nelson (2000).

## 2. Metodologia

Para iniciar este estudo foi realizada uma pesquisa bibliográfica aprofundada nas bases de dados Google Académico, Scopus e Web of Science, visando identificar artigos relevantes sobre a modelação e propagação de incêndios florestais. As *queries* utilizadas estão indicadas na tabela 4.

Tabela 4. Querys de pesquisa utilizadas no SCOPUS e no Web of Science.

<b>Plataforma</b>	<b>Query</b>
Web of Science (WOS)	ALL= ("burnt area modeling" OR "FlamMap" OR "forest fire propagation" OR "fire behavior modeling")
SCOPUS	TITLE-ABS-KEY ("burnt area modeling" OR "FlamMap" OR "forest fire propagation" OR "fire behavior modeling") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO(LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Portuguese"))

As *querys* criadas utilizaram os dados observados nas tabelas, como, por exemplo, as palavras-chave mais recorrentes. A partir dessa análise inicial, foram selecionados quatro termos principais: “burnt area modeling,” “FlamMap,” “forest fire propagation,” e “fire behavior modeling.”

Esses termos foram empregues para refinar as buscas nas bases de dados Scopus e Web of Science. Após a pesquisa inicial, os resultados foram filtrados para incluir apenas artigos académicos e limitar a língua dos documentos a português ou inglês. Essa abordagem de filtragem e refinamento nas *queries* teve como objetivo garantir que os artigos selecionados fossem não apenas relevantes ao tema.

Dessa forma, procurou-se maximizar a precisão e relevância dos resultados obtidos, assegurando que a literatura selecionada refletisse adequadamente as tendências e metodologias atuais nas áreas da modelação de incêndios florestais e propagação de fogo.

Após a colheita dos resultados, os dados foram processados no RStudio utilizando o package Bibliometrix. Esse processamento permitiu a unificação dos resultados das duas bases de dados (Scopus e Web of Science) em um único conjunto, eliminando automaticamente os registos duplicados, garantindo assim que cada artigo estivesse representado apenas uma vez na base de dados consolidada.

No final foi exportada uma matriz que servirá como base para a análise bibliométrica, que será conduzida no Bibloshiny. Essa matriz organizada e filtrada proporciona uma estrutura de dados limpa e confiável, permitindo uma análise mais

robusta dos padrões de publicação, autores, temas recorrentes e outras métricas relevantes no campo estudado.

De seguida procedeu-se à seleção dos artigos, foi organizada uma tabela com informações essenciais para caracterizar cada estudo, permitindo uma análise comparativa e uma visão abrangente das abordagens adotadas na literatura.

Nesta tabela foram incluídas as seguintes informações para cada artigo: palavras-chave, dados utilizados e suas respetivas fontes, metodologia aplicada, área de estudo, escala da pesquisa, autores, número de citações e a revista onde o artigo foi publicado. A organização desses dados teve como objetivo não apenas mapear as principais contribuições científicas, mas também identificar padrões metodológicos, fontes de dados e contextos de aplicação, além de avaliar a relevância dos estudos conforme indicado pelo número de citações.

### **3. Resultados**

#### **3.1. Evolução da produção científica**

A figura 1 ilustra a evolução da produção científica ao longo do tempo, medida pelo número de artigos publicados anualmente. Entre 1978 e meados da década de 90 do século XX, observa-se um número reduzido de publicações, com frequência irregular e períodos de estagnação. A partir do final da década de 1990 e início dos anos 2000, verifica-se um aumento gradual na produção científica, seguido de um crescimento mais acentuado a partir de 2008.

Nos anos mais recentes, a produção científica apresenta flutuações anuais, mas mantém uma tendência crescente. Observam-se picos significativos em determinados anos, indicando possíveis períodos de maior incentivo à investigação ou aumento da colaboração científica. No entanto, há também anos com ligeiras quebras, possivelmente relacionadas com fatores externos, como restrições orçamentais, mudanças institucionais ou eventos globais que afetaram a publicação de artigos.

O padrão geral sugere um fortalecimento da atividade científica ao longo das décadas, provavelmente impulsionado por um maior investimento em investigação, avanços tecnológicos e crescimento da comunidade académica. O aumento da visibilidade e acessibilidade das publicações científicas pode também ter contribuído para esta evolução positiva. Para uma análise mais aprofundada, seria pertinente correlacionar estes dados com políticas científicas, financiamento da investigação e colaboração internacional ao longo dos anos.

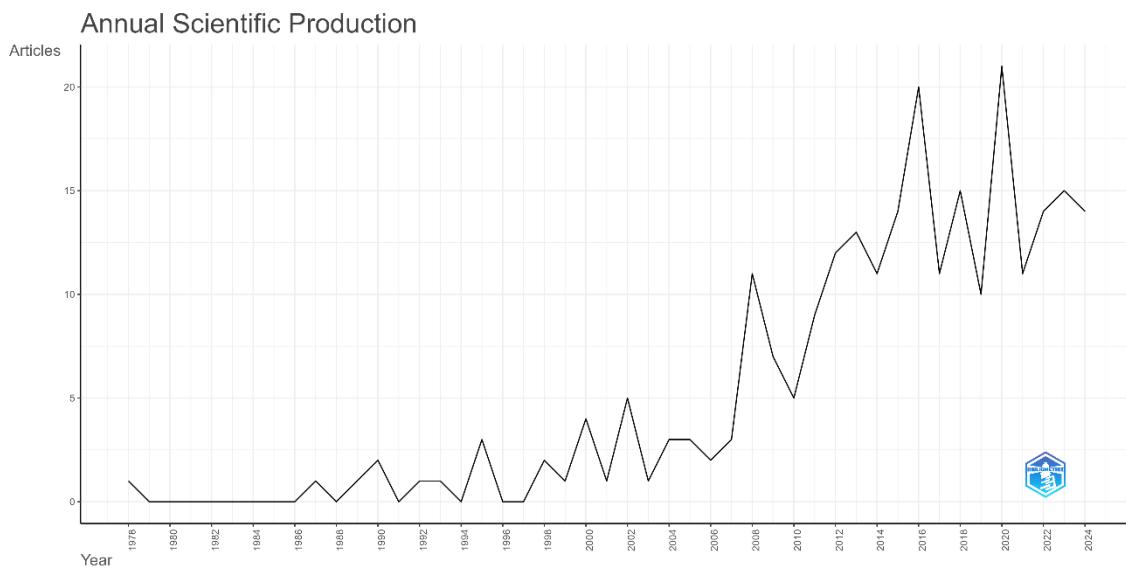


Figura 1. Produção científica anual (1978-2024)

A figura 2 apresenta um mapa da produção científica por países, com diferentes intensidades de azul a representar os níveis de contribuição académica. Os Estados Unidos destacam-se em azul-escuro, indicando a maior produção científica em comparação com outros países. Regiões da Europa Ocidental, Austrália e partes da América do Sul e da Ásia também estão representadas em azul-claro, demonstrando uma participação moderada. Em contraste, muitas áreas, especialmente na África e em partes da Ásia Central, aparecem em cinzento, sugerindo uma produção científica pouco expressiva ou inexistente.

Esta visualização reflete disparidades significativas na produção científica global, com os Estados Unidos a liderar e uma maior concentração de atividades em países desenvolvidos, enquanto os países em desenvolvimento apresentam uma contribuição científica baixa.

Country Scientific Production

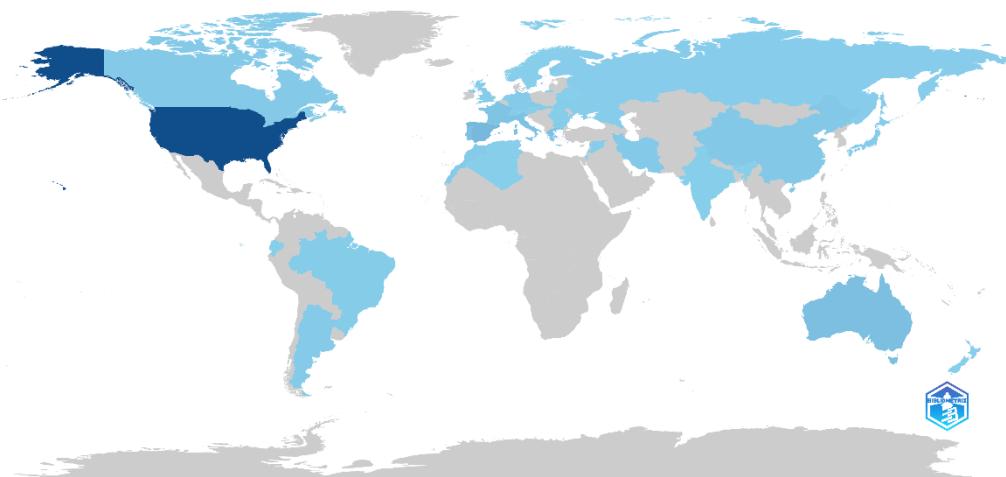


Figura 2. Produção científica por país (1978-2024).

A figura 3 apresenta a produção científica ao longo do tempo por países. A linha que representa os Estados Unidos (em rosa) destaca-se com um crescimento exponencial começando a liderar a partir de 2005 a produção científica.

Os restantes países apresentam tendências de crescimento mais baixas e consistentes. Austrália, Grécia, Portugal e Espanha demonstram um aumento gradual na produção científica, especialmente após 2010, embora permaneçam com números mais baixos em comparação aos EUA. Estes países têm curvas semelhantes em magnitude, sugerindo uma competitividade equilibrada entre eles, mas inferior à dos Estados Unidos.

O padrão geral sugere uma aceleração global na produção científica ao longo das últimas décadas, com os EUA liderando, enquanto outros países começam a aumentar sua contribuição em um ritmo mais lento.

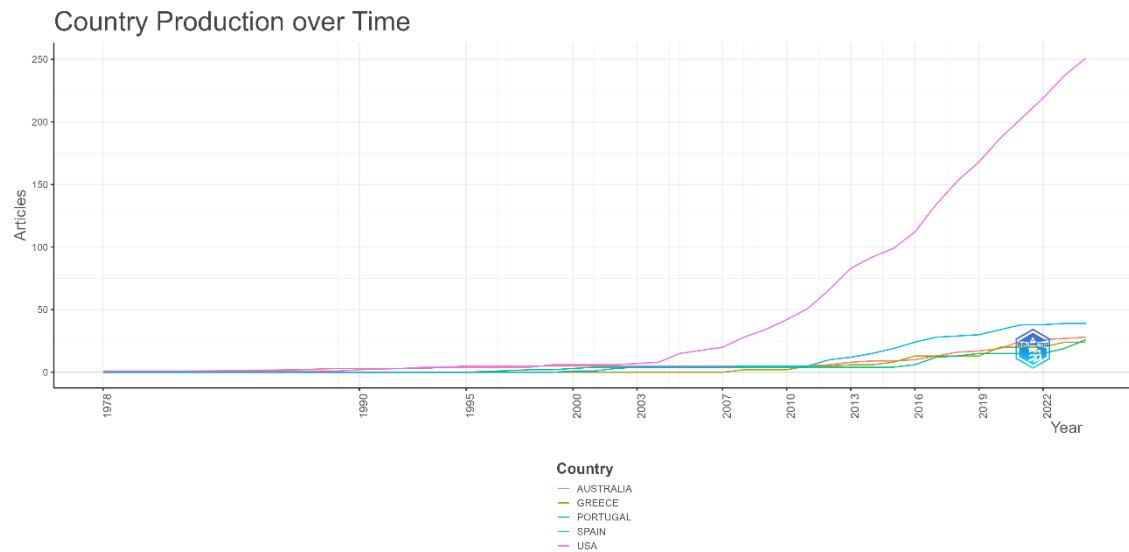


Figura 3. Produção científica anual por país (1978-2024).

A figura 4 apresenta os países mais citados em publicações científicas, com os Estados Unidos a destacar-se na liderança como o país mais citado, acumulando 2632 citações. Em segundo lugar, surge a Austrália com 530 citações, seguida pelo Canadá com 446. Portugal também se destaca com 408 citações, ocupando uma posição de destaque no cenário global, logo à frente da Espanha, que possui 360 citações. A Suíça vem em seguida com 337 citações.

Os países europeus como a Grécia (229 citações), a França (218 citações) e a Alemanha (104 citações) aparecem em posições intermédias, enquanto a China apresenta um número menor de citações (115), comparadas aos líderes do ranking.

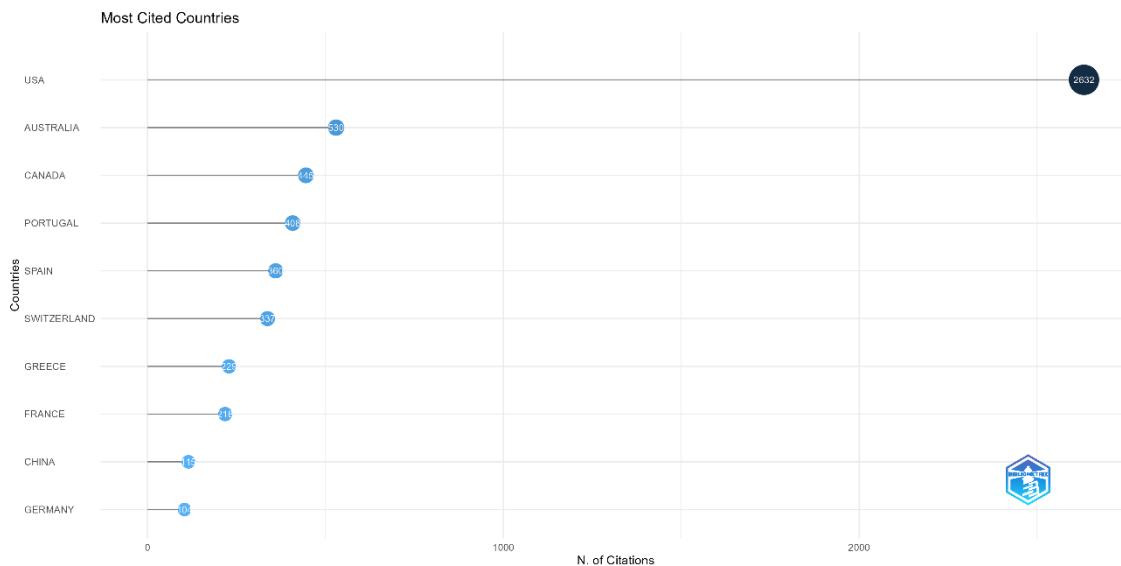


Figura 4. Países mais citados.

### 3.2. Principais autores e afiliações

A figura 5 demonstra o impacto dos autores com base no índice H, este indicador avalia a produtividade e o impacto das publicações académicas. O eixo Y lista os nomes dos autores avaliados, enquanto o eixo X apresenta os valores do índice H, variando entre 0 e 10.

Destaca-se o autor Ager A., que possui o maior índice H (10), e Stephens S., com índice H de 9, sendo os autores que apresentam maior importância para o tema em estudo. Estes autores apresentam um impacto significativamente maior em comparação aos demais. Outro autor de destaque é Collins B., com índice H de 6, o que sugere uma contribuição relevante, embora menor que os dois primeiros.

A maioria dos outros autores possui índices H moderados, situando-se entre 4 e 5, incluindo Barros A., Cortés A., Day M., Fernandes P., Finney M. e Kalabokidis K. Isso indica que eles têm impacto considerável, mas não tão expressivo quanto os autores com índices mais altos.

Por outro lado, autores como Cruz M. possuem índice H mais baixo, o que sugere uma contribuição menor em termos de impacto das suas publicações.

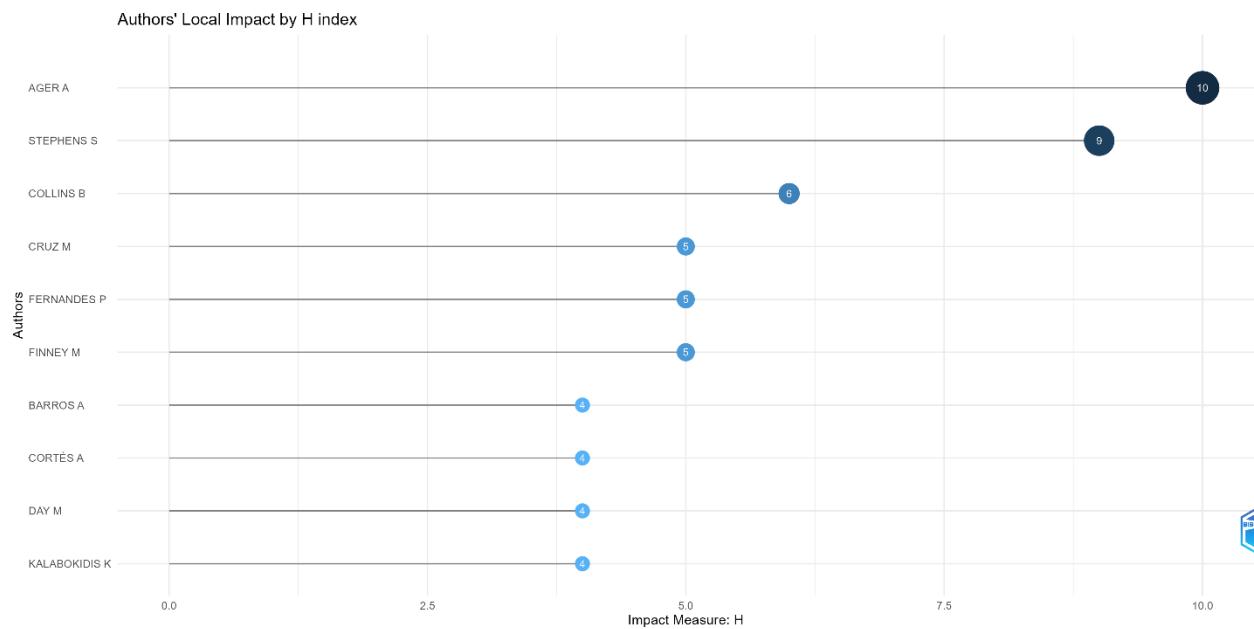


Figura 5. Impacto dos autores com base no índice H.

A figura 6 ilustra a evolução da produção académica de vários autores ao longo dos anos, destacando padrões de publicação e impacto académico medido pelo número de citações anuais (TC por Ano). A distribuição das bolas no gráfico reflete não apenas o volume de publicações, mas também a relevância dessas contribuições em termos de citações, com bolas maiores representando mais artigos publicados e cores mais escuras indicando maior impacto em citações por ano.

A análise revela padrões distintos entre os autores. Autores como Ager A., Stephens S. e Collins B. mostram consistência ao longo dos anos, com contribuições frequentes e um impacto significativo, sugerindo um envolvimento contínuo e profundo na área de pesquisa. Em contraste, autores como Fernandes P. e Finney M. apresentam contribuições mais esparsas e pontuais, com lacunas significativas entre os anos. Já autores como Margalef T. e Cortés A. destacam-se por picos em anos específicos, como 2008 e 2016, onde apresentaram maior produção e impacto.

Os padrões temporais revelam tendências mais amplas do campo de pesquisa. Muitos autores concentram suas publicações após o ano 2000, indicando que o tema pode ter ganho relevância nas últimas décadas. Além disso, o aumento do número de bolas após 2010 sugere não apenas um aumento no volume de publicações, mas também a entrada de novos pesquisadores, como Mallinis G. Esse crescimento é marcado por picos de produção em anos coincidentes, como 2016 e 2018, o que pode refletir colaborações em grande escala ou eventos importantes.

Outra observação relevante é a relação entre número de artigos e impacto em citações. Embora autores como Ager A. Combinem um alto volume de publicações com impacto consistente, outros, como Cruz M., possuem menos produção, mas com impacto em determinados anos.

No geral, o gráfico reflete a evolução do campo académico em termos de volume e impacto. Autores estabelecidos como Ager A. e Stephens S. moldam o núcleo do impacto acadêmico, enquanto contribuições menos regulares de autores como Fernandes P. e Margalef T. ajudam a diversificar e expandir o alcance da área. O crescimento no número de publicações e no impacto após 2010 destaca o crescente aumento da importância do campo.

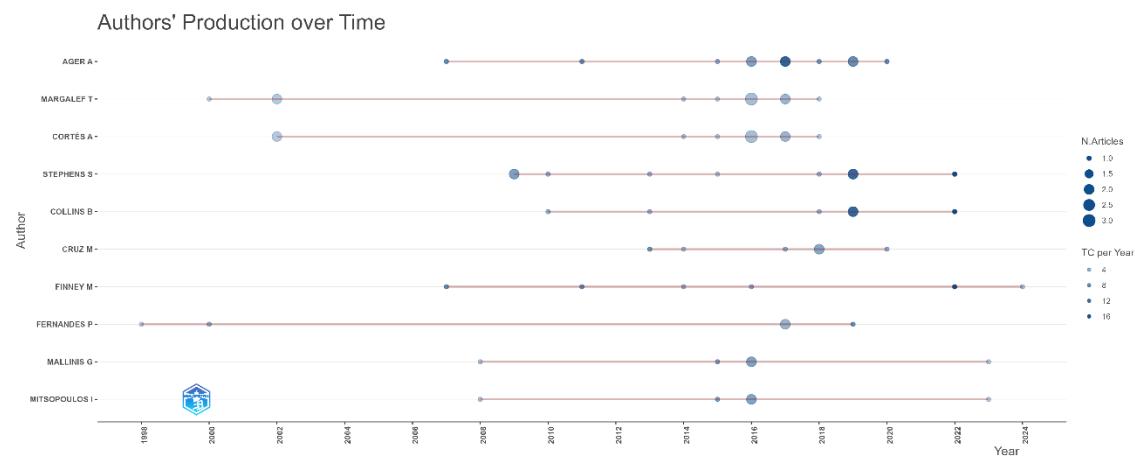


Figura 6. Número de artigos e TC anual dos autores ao longo do tempo (1978-2024)

A figura 7 apresenta a relevância de autores baseada no número de documentos publicados. Os autores Ager A. e Margalef T. destacam-se como os autores que mais publicaram, cada um com 11 publicações, seguidos por Cortés A. com 10 artigos e Stephens S. com 9 artigos. Outros autores, como Collins B., Cruz M. e Finney M., possuem 6 publicações cada, enquanto Fernandes P., Mallinis G. e Mitsopoulos I. surgem com 5 publicações cada.

Esta distribuição evidencia que existe uma concentração de publicações em poucos autores de destaque, enquanto outros contribuem de forma relevante, mas em menor volume de publicações. Autores com maior número de publicações, como Ager A. e Margalef T., provavelmente possuem maior influência no campo de estudo, indicando uma liderança temática ou permanência na produção acadêmica.

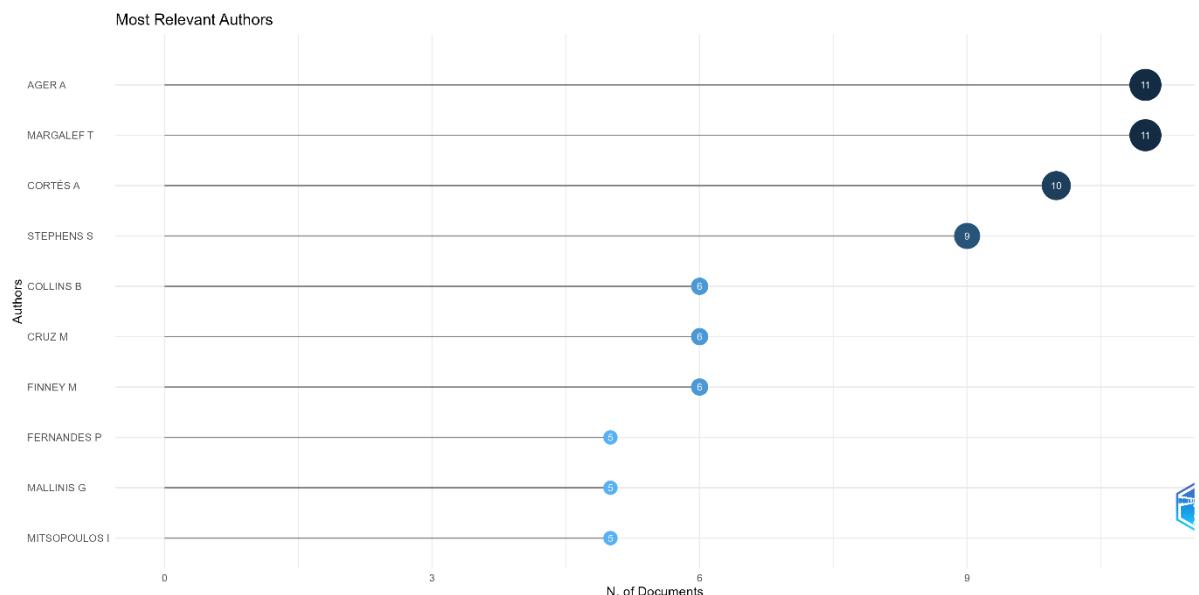


Figura 7. Número de documentos por autores.

A figura 8 apresenta a rede de colaboração entre autores, evidenciando os relacionamentos e a formação de clusters em torno de investigadores que partilham trabalhos ou áreas de interesse comuns. O nó central que mais se destaca é "Ager A.", pertencente ao cluster azul, que está conectado a diversos autores, como "Vaillant N",

"Finney M", "Kalabokidis K" e "Bailey J", evidenciando uma posição central e influente na rede de colaboração, provavelmente devido à grande quantidade de publicações.

Outros clusters menores, mas bem definidos, incluem "Margalef T." no cluster verde-água, associado a autores como "Sanjuan G" e "Luque E", e "Mallinis G". No cluster rosa, os autores que colaboraram com "Arianoutsou M.". Estes grupos sugerem áreas específicas de investigação em que estes autores lideram ou têm maior interação.

O cluster laranja, liderado por "Linn R." e "Hiers J.", apresenta-se como um núcleo colaborativo menor, mais especializado, assim como o cluster castanho, que reúne "Bacciu V.", "Jahdi R." e "Salis M.", indicando uma colaboração focada. Existem também outros clusters sem grandes ligações com outros grupos, como o cinzento, de "Alexander M." e "Cruz M.". O cluster púrpura, com "Stephens S" e "Collins B", ilustra algumas ligações com o cluster principal que pode ser resultado de colaborações mais isoladas ou trabalhos em áreas mais específicas.

A rede demonstra a importância de alguns autores, como "Ager A." e "Margalef T.", no papel de conectar diversos investigadores e fomentar colaborações amplas, enquanto outros grupos menores mostram colaborações focadas em temáticas ou projetos específicos. Esta estrutura reflete a organização colaborativa em campos científicos especializados e a diversidade de áreas dentro da rede

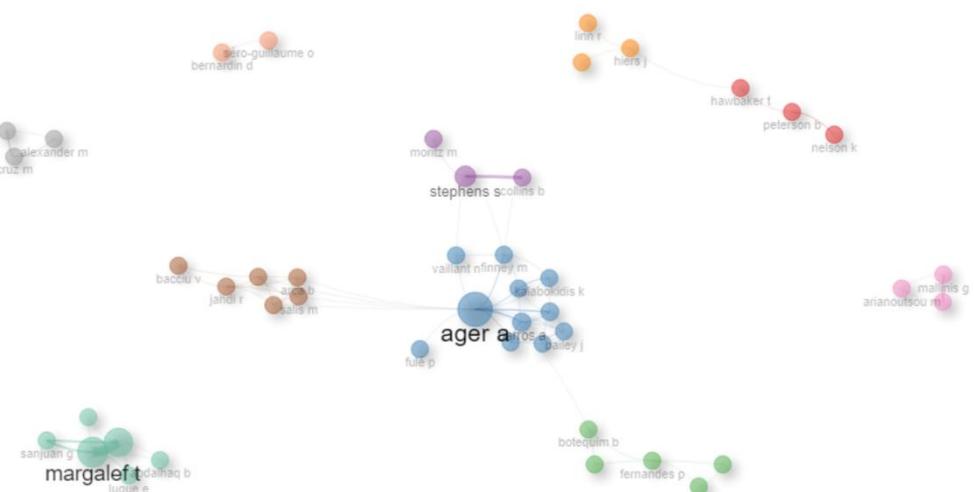


Figura 8. Rede de colaboração entre autores.

Observando a figura 9, é possível destacar quatro períodos de produção científica:

- 1) Período de 1987 a 2003 - regista uma produção praticamente estável e bastante baixa para todas as instituições listadas. A Universidade da Califórnia (em azul) surge com uma leve superioridade, embora todas as afiliações tenham um número próximo a zero, indicando pouco interesse ou capacidade limitada de produção do tema.
- 2) Período 2004 a 2011 - observa-se um leve aumento na produção, especialmente a partir do meio deste período, destaca-se o United States Forest Service (Serviço Florestal dos EUA, em verde), que começa a liderar a produção a antes de 2011. O aumento é pouco significativo, mas é possível observar uma maior tendência na produção de artigos sobre o tema, principalmente pelo Serviço Florestal, que passa a se tornar o principal contribuinte.
- 3) Período de 2011 a 2018 - período em que o gráfico mostra o crescimento mais acentuado na produção de artigos, especialmente pelo Serviço Florestal dos EUA (verde) e pelo Departamento de Agricultura dos EUA (laranja). Nesse intervalo, o Serviço Florestal continua como líder, refletindo um aumento significativo de interesse institucional nas pesquisas relacionadas a esse campo. A Universidade da Califórnia continua a contribuir substancialmente, e novas instituições, como o US Geological Survey (Serviço Geológico dos EUA, em azul-claro), começam a mostrar crescimento consistente nas suas produções.
- 4) Período de 2018 em diante - a partir de 2018, observa-se um crescimento mais intenso e sustentado na produção de artigos nas instituições líderes. O Serviço Florestal dos EUA e a Departamento de Agricultura mantêm suas posições de destaque, com o departamento de agricultura ligeiramente acima. O Departamento do Interior dos EUA (USDA) (em amarelo) e o Departamento de Geologia dos EUA (em azul-claro) também mostram um aumento, embora em menor proporção. Esse crescimento indica uma expansão consolidada na área de pesquisa.

A figura 9 reflete uma evolução clara na produção científica sobre o tema, passando de um interesse restrito e concentrado em uma ou duas instituições até o início dos anos 2000, para um ambiente de pesquisa mais competitivo e diversificado

após 2011. A partir de 2018, o crescimento intensifica-se nas principais instituições sinalizando a importância que o tema passou a ter, especialmente para o Serviço Florestal dos EUA e o departamento de agricultura, que se consolidaram como líderes da produção científica.

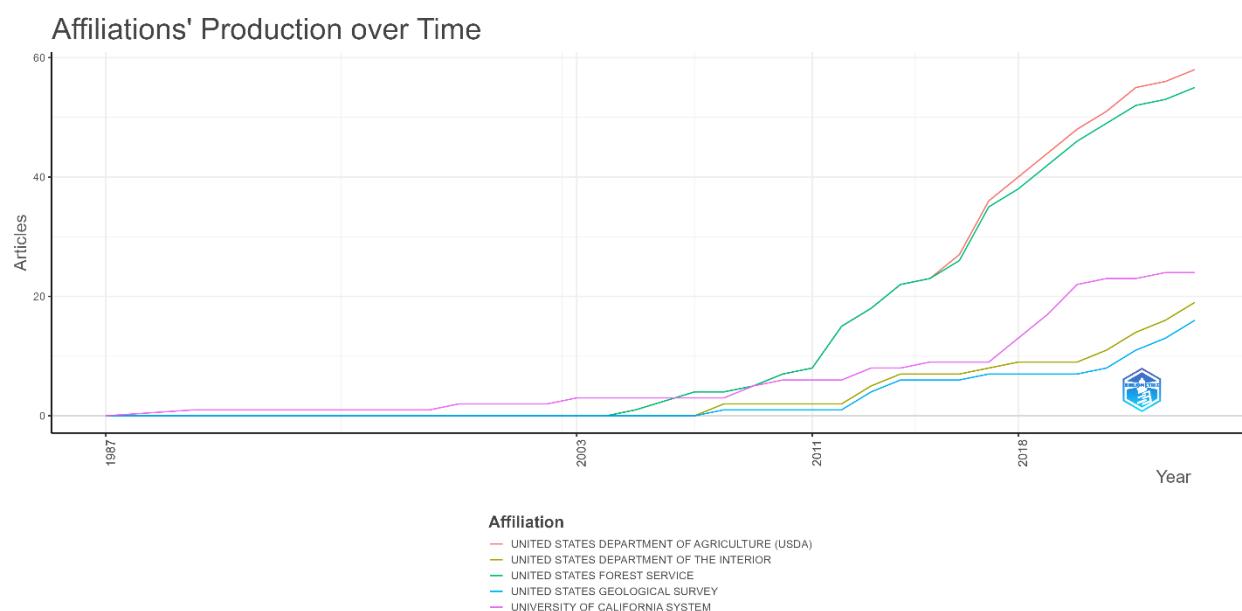


Figura 9. Produção anual acumulada de artigos por afiliação (1978-2018).

### 3.3. Principais fontes de informação

A figura 10 apresenta um gráfico das fontes científicas mais relevantes, indicando o número de documentos publicados em diversas revistas relacionadas ao tema. A análise baseia-se no volume de publicações, com os números associados a cada fonte representando a quantidade de artigos ou documentos relevantes para o estudo.

A revista que apresenta maior relevância é o *International Journal of Wildland Fire*, com 29 documentos, seguido pela *Forest Ecology and Management*, que apresenta 17 documentos. Outras fontes incluem *Fire Ecology* (12 documentos) e *Fire-Switzerland* (9 documentos). Com menos publicações destacam-se o *Ecological Modelling* (3 documentos), *Canadian Journal of Forest Research* (4 documentos)

e *Environmental Management* (4 documentos), indicando uma menor frequência de artigos relacionados ao tema na amostra considerada.

A concentração de publicações em determinadas revistas sugere a especialização destas no tema em questão, sendo fundamentais para quem deseja aprofundar-se na área.

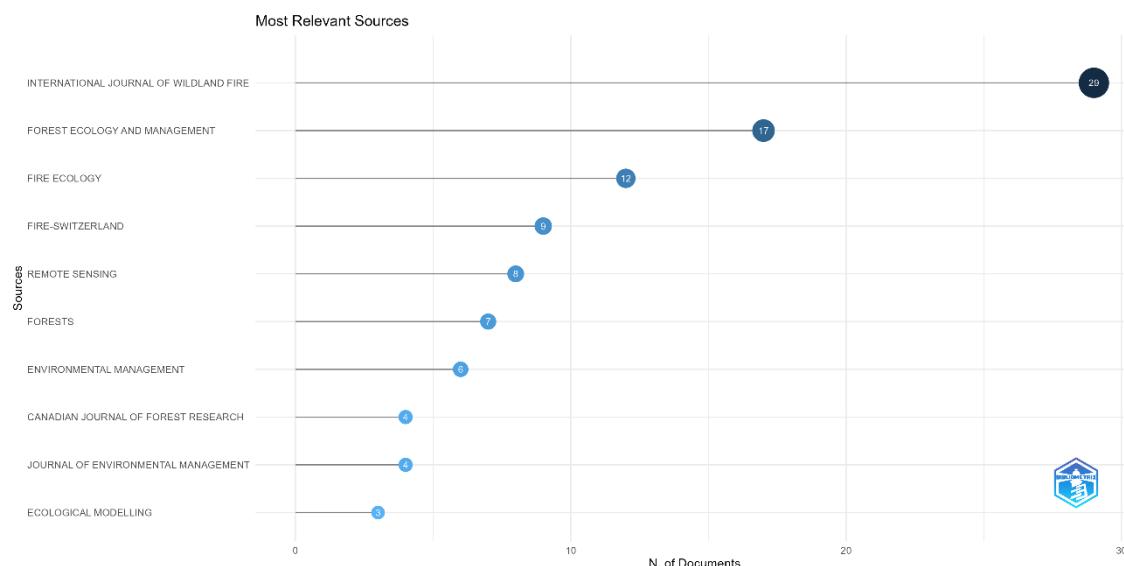


Figura 10. Número de documentos por revista (1978-2024)

A figura 11 apresenta um gráfico que demonstra o impacto local das fontes científicas com base no índice H, um indicador amplamente utilizado para medir a produtividade e o impacto de publicações académicas.

O *International Journal of Wildland Fire* lidera o ranking com um índice H de 19, sendo esta a fonte mais influente na área. Segue-se o *Forest Ecology and Management* com um índice H de 14, também evidenciando uma contribuição significativa para o campo. Outras fontes, como *Fire Ecology* e *Remote Sensing*, possuem índices H de 7, indicando relevância moderada, enquanto publicações como *Environmental Management*, *Fire-Switzerland* e *Forests* apresentam um índice H de 5. As fontes com o ranking mais baixo são o *Canadian Journal of Forest Research* e

o *Journal of Environmental Management*, ambos com um índice H de 4, e o *Ecological Modelling* com um índice H de 3.

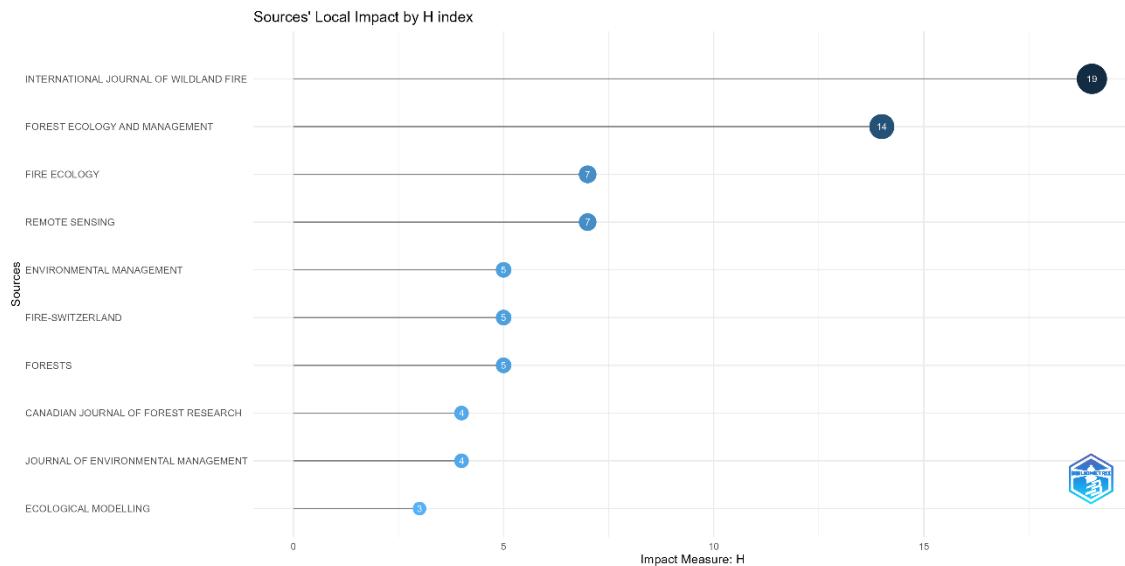


Figura 11.Impacto das revistas científicas por índice H

### 3.4. Documentos mais importantes

A figura 12 apresenta os documentos mais citados globalmente, destacando as publicações científicas que receberam maior reconhecimento na literatura. O artigo de Morsdorf F., publicado em 2004 na *Remote Sensing of Environment*, lidera com 287 citações. Em seguida, Simard M., de 2011 na *Ecological Monographs*, com 221 citações, enquanto Riaño D., de 2003 também na *Remote Sensing of Environment*, ocupa a terceira posição com 207 citações.

Outros artigos que se destacam são Martins F. P., de 2001 na *Forest Ecology and Management*, com 165 citações, e Ager A., de 2007 na mesma revista, com 142 citações. Yassemi S., publicado em 2008 na *Ecological Modelling*, regista 126 citações, seguido por Sullivan A., de 2012 no *Atmospheric Environment*, com 120 citações.

Os documentos restantes no ranking, incluindo trabalhos de Falkowski M. (2005), Ager A. (2011) e Stratton R. (2004), apresentam citações variando de 117 a 96.

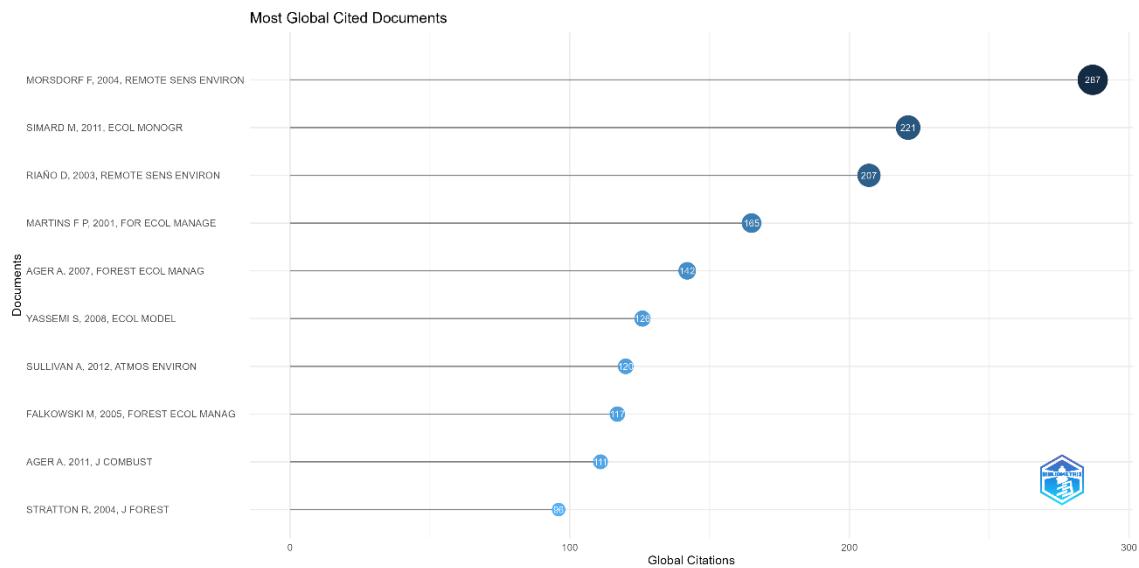


Figura 12. Documentos mais citados globalmente.

### 3.5. Principais conceitos

A Figura 13 apresenta a rede de coocorrência dos termos relacionados à pesquisa sobre incêndios florestais, gestão da vegetação e comportamento do fogo. A rede é organizada em clusters temáticos diferenciados por cores, representando tópicos inter-relacionados com base na frequência com que palavras-chave aparecem juntas.

O cluster vermelho foca-se em temas como incêndios, modelação do comportamento do fogo e combustíveis, destacando palavras-chave como "fires", "forestry", "fire behavior modeling" e "fuels".

O cluster verde explora a gestão da vegetação e a gestão florestal, com termos como "vegetation", "fire management", "wildfire" e "forest".

Já o cluster azul aborda o impacto dos incêndios na paisagem, severidade dos eventos e estratégias de planeamento, com palavras-chave como "landscape", "behavior", "severity" e "management".

As principais palavras-chave como "fire behavior", "fires", "vegetation" e "management", mostram-se como pontos de interseção entre os diferentes clusters, evidenciando a integração entre modelação técnica, ecossistemas e estratégias de

mitigação. Além disso, palavras como "climate change" e "exposure" indicam áreas emergentes de pesquisa focadas em mudanças climáticas e exposição de riscos.

Assim, o gráfico reflete a complexidade dos estudos sobre incêndios florestais, mostrando que esses temas englobam desde modelação técnica até estratégias práticas de gestão e mitigação de impactos.

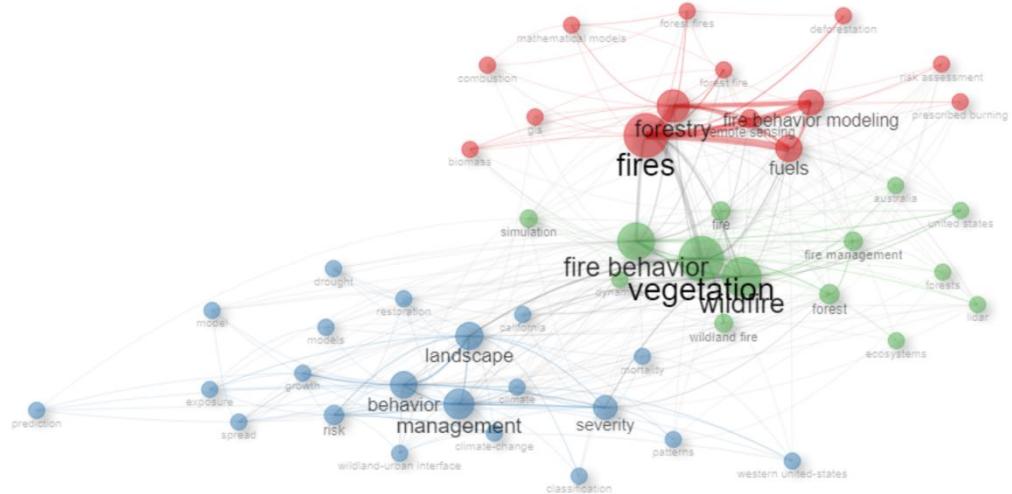


Figura 13. Rede de ocorrência dos termos relacionados à pesquisa.

As figuras 14 e 15 fornecem uma análise complementar sobre palavras-chave relacionadas ao tema em estudo, destacando a sua relevância e frequência.

Na figura 14, o gráfico de barras mostra as palavras-chave mais relevantes em termos de ocorrências. As palavras "fires" e "vegetation" aparecem no topo com 37 ocorrências cada, seguidas de "wildfire" com 34 ocorrências e "management" com 29. Termos como "fire behavior" e "forestry" têm 27 ocorrências, enquanto "severity" e "fuels" aparecem nas posições mais baixas, com 19 e 20 ocorrências, respectivamente. Esta distribuição reflete os principais tópicos abordados na literatura, destacando temas críticos como incêndios, comportamento do fogo, vegetação e gestão ambiental.

Na figura 15, a nuvem de palavras ilustra a frequência relativa destes e de outros termos num formato gráfico. Palavras como "management", "wildfire", "fires", "vegetation" e "fire behavior" destacam-se devido ao seu tamanho, o que confirma a sua relevância já observada no gráfico. Além disso, a nuvem inclui outros termos importantes, como "severity", "fuels", "landscape", "remote sensing", "biomass" e "simulation", indicando a diversidade de conceitos associados ao tema.

A análise conjunta das imagens revela que a pesquisa está fortemente centrada em questões de ecologia do fogo, gestão de incêndios e os impactos nos ecossistemas. O foco em termos como "remote sensing" e "simulation" sugere o uso de tecnologias modernas e abordagens quantitativas para compreender e mitigar os impactos de incêndios florestais.

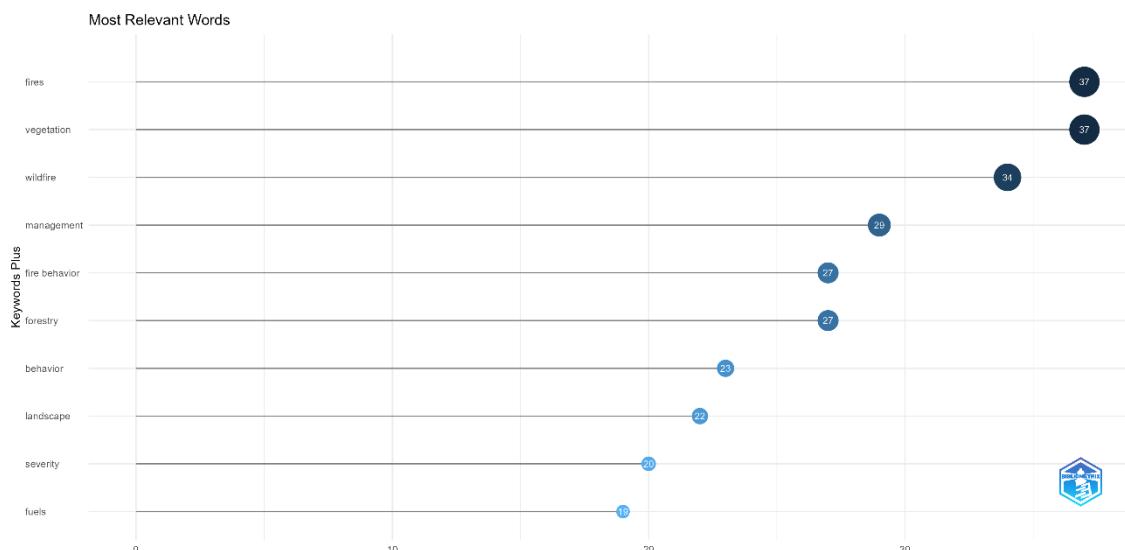


Figura 14. Palavras-chave mais relevantes.



Figura 15. Nuvem de palavras com as palavras-chave.

A figura 16 analisa os temas relacionados à pesquisa sobre incêndios e ecossistemas, utilizando dois eixos principais: densidade, que reflete o grau de desenvolvimento dos temas, e centralidade, que mede a relevância dos temas para o campo de estudo. O gráfico é dividido em quatro quadrantes, cada um representando uma categoria temática.

No quadrante superior esquerdo, encontram-se os temas de nicho, caracterizados por alta densidade e baixa centralidade. Esses temas, como "wildfires", "article" e "ecological modeling", são altamente especializados e relevantes para subáreas específicas, mas possuem menor conexão com o núcleo central da pesquisa. No quadrante superior direito estão os temas motores, que são os mais relevantes e bem desenvolvidos no campo. Neste grupo, destacam-se "vegetation", "wildfire" e "fires", representando áreas amplamente estudadas e que direcionam os avanços na pesquisa.

O quadrante inferior esquerdo apresenta os temas emergentes ou em declínio, caracterizados por baixa densidade e centralidade. Tópicos como "parameters", "pine" e "data fusion" podem indicar áreas emergentes que ainda não receberam a devida atenção ou campos que estão a perder relevância. Já no quadrante inferior direito estão

os temas básicos, como "management", "behavior" e "landscape". Esses temas têm alta centralidade, ou seja, estão conectados a diversos outros tópicos, mas ainda carecem de maior desenvolvimento teórico ou metodológico para se consolidarem.

De forma geral, o mapa destaca que temas como "vegetation", "wildfire" e "fires" são o núcleo da pesquisa, guiando os avanços no campo. Os temas básicos, como "management" e "behavior", fornecem os fundamentos conceptuais, mas apresentam potencial para maior aprofundamento. Por outro lado, tópicos como "ecological modeling" contribuem para subáreas específicas, enquanto temas como "data fusion" apontam oportunidades futuras para inovação e integração de novas metodologias.

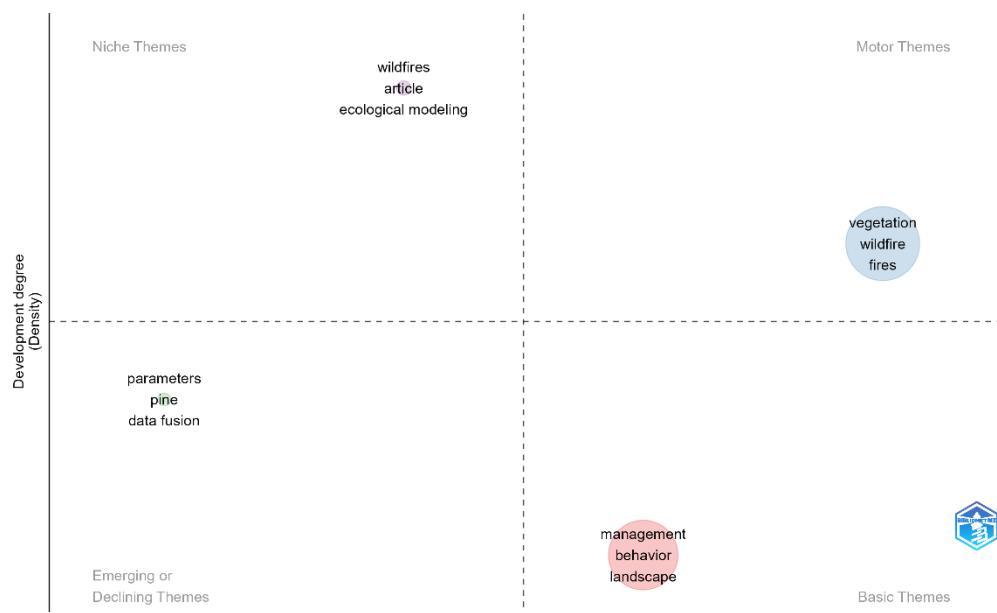


Figura 16. Mapa temático dos conceitos utilizados

#### 4. Conclusão ou Considerações Finais

Com este estudo foi possível compreender que a modelação de incêndios florestais é um tema que está a ter um aumento significativo na produção científica, com os Estados Unidos destacando-se como o país com maior número de publicações e citações. Autores como Ager A. e Stephens S. emergiram como os mais influentes, contribuindo significativamente para o avanço do conhecimento na modelação de incêndios florestais e gestão de combustíveis. As revistas International Journal of

Wildland Fire e Forest Ecology and Management destacaram-se como principais fontes de informação.

A evolução temporal da produção científica mostra um aumento exponencial a partir do início dos anos 2000, com um crescimento mais acentuado após 2011. Esse aumento reflete um maior interesse e priorização do tema, especialmente por parte de instituições líderes, que consolidaram a sua posição como principais contribuintes para a pesquisa. A colaboração entre autores é fundamental, com redes de pesquisa que conectam especialistas de diferentes áreas, promovendo a troca de conhecimentos e a diversificação dos estudos.

A produção científica por países evidencia a predominância de nações desenvolvidas, que lideram tanto em volume de publicações quanto em citações. No entanto, outros países também demonstram contribuições relevantes, embora em menor escala, indicando uma crescente participação global no campo. Esta disparidade reflete diferenças na infraestrutura e no investimento em pesquisa, mas também aponta para oportunidades de crescimento e colaboração internacional.

Os principais temas de pesquisa incluem incêndios florestais, vegetação, gestão ambiental e comportamento do fogo, com um forte enfoque no uso de tecnologias avançadas, como sensoriamento remoto e modelação ecológica. Essas abordagens têm permitido uma compreensão mais profunda dos fenómenos relacionados a incêndios florestais, além de fornecer ferramentas para a mitigação de riscos e a gestão sustentável dos ecossistemas.

Em síntese, o campo de pesquisa sobre a modelação da propagação de incêndios florestais e gestão da vegetação está em pleno desenvolvimento, com um aumento notável na quantidade e no impacto das publicações. A liderança de certos autores e instituições, a diversificação dos temas de pesquisa e o uso de tecnologias inovadoras indicam um cenário promissor para futuras contribuições. A priorização do tema e a consolidação de redes colaborativas sugerem que a área continuará a evoluir, oferecendo soluções cada vez mais eficazes para os desafios relacionados aos incêndios florestais e à gestão dos ecossistemas.

Para futuras considerações deste trabalho, sugere-se o desenvolvimento da introdução com um aprofundamento da análise dos pontos de ignição e a sua distribuição espaço-temporal. Será também necessário explorar outras áreas relacionadas com os modelos de propagação, como os modelos de combustíveis, e aprofundar a base teórica dos métodos de cálculo do fogo referidos no FlamMap. Outra perspetiva futura seria a melhoria do glossário conceptual, apresentando definições alternativas dos termos propostas por outros autores, bem como a introdução de novos termos relevantes.

## **Referências Bibliográficas**

- AGIF. (2023). Relatório anual de atividades do Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIFR) 2023.
- Bergonse, R., Oliveira, S., Zêzere, J. L., Moreira, F., Ribeiro, P. F., Leal, M., & e Santos, J. M. L. (2022). Biophysical controls over fire regime properties in Central Portugal. *Science of The Total Environment*, 810, 152314.
- Castro, C. F., Serra, G., Parola, J., Reis, J., Lourenço, L., & Correia, S. (2003). Combate a incêndios florestais (vol. XIII). Escola Nacional de Bombeiros, 13.
- Esteves, V. A. S. (2020). Avaliação da Suscetibilidade de Incêndio Rural no Concelho de Cinfães.
- Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Castelo Branco, M., & Zêzere, J. (2009). Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal. In: Autoridade Nacional de Protecção Civil.
- Ventura, J., & Vasconcelos, M. J. (2006). O fogo como processo físico-químico e ecológico. *Incêndios Florestais em Portugal Impactes E Prevenção*, 93-113.
- Ager, A. A., Barros, A. M., Houtman, R., Seli, R., & Day, M. A. (2020). Modelling the effect of accelerated forest management on long-term wildfire activity. *Ecological Modelling*, 421, 108962.
- André, J. C., & Viegas, D. X. (2001). Modelos de propagação de fogos florestais: Estado da arte para utilizadores (parte I: Introdução e modelos locais). *Silva Lusitana*, 9(2), 237-265.
- Castro, C. F., Serra, G., Parola, J., Reis, J., Lourenço, L., & Correia, S. (2003). Combate a incêndios florestais (vol. XIII). Escola Nacional de Bombeiros, 13.
- Oliveira, E., & Fernandes, P. (2023). Uma cartografia aperfeiçoadas das áreas ardidas no Alto Minho (Noroeste de Portugal) entre 2001 e 2020. *Finisterra*, 58(122), 15-38-15-38.

Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Castelo Branco, M., & Zêzere, J. (2009). Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal. In: Autoridade Nacional de Protecção Civil.

Palaiologou, P., Kalabokidis, K., Day, M. A., Ager, A. A., Galatsidas, S., & Papalampros, L. (2022). Modelling fire behavior to assess community exposure in Europe: combining open data and geospatial analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(3), 198.

André, J. C., & Viegas, D. X. (2001). Modelos de propagação de fogos florestais: Estado da arte para utilizadores (parte I: Introdução e modelos locais). *Silva Lusitana*, 9(2), 237-265.

Finney, M. A., Brittain, S., Seli, R. C., McHugh, C.W., and Gangi, L. (2023). FlamMap:Fire Mapping and Analysis System (Version 6.2) [Software]. Available from <https://www.firelab.org/project/flammap>

ICNF. (2019). 6.º Inventário Florestal Nacional - Relatório Final.

Verde, J. C. (2008). Avaliação da perigosidade de incêndio florestal Universidade de Lisboa (Portugal)].