



SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS SOBRE QUEIMADAS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA VIA METODOLOGIA PROKNOW-C

Bruno Berkamp Mota Brandão
Universidade Federal da Paraíba

Maria Jullia Sousa Pontes
Universidade Federal da Paraíba

Alexandro Medeiros Silva
Universidade Federal da Paraíba

RESUMO

As queimadas causam graves impactos ambientais e constituem um risco global, afetando ecossistemas e populações. Nesse contexto, o sensoriamento remoto tornou-se essencial no monitoramento e mitigação dos efeitos adversos desses incêndios. Este estudo apresenta uma abordagem sistemática no levantamento das principais metodologias do sensoriamento remoto aplicadas em estudos sobre queimadas e na definição de sugestões de temas promissores para pesquisas futuras, seguindo a metodologia ProKnow-C. Após sete etapas de filtração sistemáticas, foram selecionados 19 artigos relevantes. Foi observado uma crescente na produção acadêmica sobre a temática, com destaque para países como Canadá, China e Estados Unidos. As metodologias mais empregadas incluem o uso de imagens de satélites e drones e algoritmos de *machine learning*. Como recomendação para pesquisas futuras, o estudo sugere explorar a relação entre mudanças climáticas e a vulnerabilidade a incêndios, uso de bandas individuais de sensores remotos e o aprimoramento de modelos *deep learning*.

Palavras-chave: Queimadas, sensoriamento remoto, Proknow-C, análise sistemática.

Remote sensing in wildfire studies: a bibliometric review using the ProKnow-C methodology

ABSTRACT

Wildfires cause severe environmental impacts and represent a global risk, affecting ecosystems and human populations. In this context, remote sensing has become

essential for monitoring and mitigating the adverse effects of these fires. This study presents a systematic approach to reviewing the main remote sensing methodologies applied to wildfire research and identifying promising research themes, using the ProKnow-C methodology. After seven systematic filtration stages, 19 relevant articles were selected, showing a growing academic interest in this topic, especially in countries such as Canada, China, and the United States. The most common methodologies include satellite and drone imagery, as well as machine learning algorithms. For future research, this study recommends exploring the relationship between climate change and fire vulnerability, using individual remote sensor bands, and enhancing deep learning models.

Keywords: *Wildfires, remote sensing, ProKnow-C, systematic analysis.*

INTRODUÇÃO

As queimadas causam impactos significativos em todos os ecossistemas em escala local, regional e até mesmo continental, principalmente quando analisa-se parâmetros como qualidade do ar (Thornberry *et al.*, 2023). Além do prejuízo ambiental, os incêndios florestais tornam-se um importante perigo ambiental a nível global, com milhões de hectares de florestas destruídas, afetando estruturas residenciais e comerciais, obrigando milhares de pessoas deixarem as suas casas todos os anos (Yuan *et al.*, 2017).

Nesse contexto, as consequências ambientais e socioeconômicas são diversas, o que resulta em sérios danos à infraestrutura, ferimentos e perdas de vidas humanas (Tanase *et al.*, 2018). Os incêndios comprometem o equilíbrio ecológico das florestas, afetam a estrutura e a biomassa da vegetação e são uma fonte primária de emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para as mudanças climáticas. A rápida detecção de incêndios e o monitoramento preciso são tarefas determinantes para minimizar esses impactos (Prestes *et al.*, 2020).

Com isso, um dos principais aliados para a execução dos estudos envolvendo queimadas é a utilização dos produtos de sensoriamento remoto associadas a algoritmos de inteligência artificial e aos sistemas de informações geográficas. Diversos produtos das mais variadas características de resolução espacial, temporal, radiométrica e espectral, têm sido aplicados com o objetivo de identificar, monitorar, prevê queimadas em todo o mundo (Luz *et al.*, 2022).

Desde o final da década de 1970, dados de sensoriamento remoto baseados em satélites, como os obtidos por MODIS, Landsat e Sentinel-2, têm sido amplamente utilizados para detectar incêndios ativos e mapear áreas queimadas, aproveitando o contraste térmico entre o fogo e o plano de fundo, bem como a avaliação dos efeitos do fogo na refletância da vegetação (Key e Benson, 2005).

A área de estudo é caracterizada por uma vasta diversidade de sistemas e metodologias, incluindo sistemas terrestres, aéreos (como Veículos Aéreos Não Tripulados - VANTs) e satelitais. Embora esses forneçam cobertura em larga escala,

os VANTs oferecem potencial para medições de incêndio de alta resolução espacial e temporal, complementando as observações por aeronaves tripuladas e satélites (Yuan *et al.*, 2017; Barmpoutis *et al.*, 2020). Além disso, há um interesse crescente no uso de algoritmos de Inteligência Artificial (IA), como *deep learning* (DL), para a previsão e classificação de incêndios, motivado pela disponibilidade de conjuntos de dados espaciais e temporais de alta qualidade (Jain *et al.*, 2020; Florath e Keller 2022).

A complexidade e a rápida expansão desse domínio são confirmadas por análises bibliométricas, que mostram um crescimento na publicação de artigos relacionados à detecção de incêndios florestais, com mais de 2024 artigos encontrados na base de dados Web of Science (WoS) entre 1990 e outubro de 2020 (Barmpoutis *et al.*, 2020). Diante disto, a aplicação de técnicas de análise bibliométrica servem de instrumento para avaliar a evolução e a consolidação das pesquisas na área. A bibliometria, ao quantificar e sistematizar a produção científica, permite identificar lacunas, tendências e redes de colaboração que sustentam o desenvolvimento de determinado campo de estudo.

Este trabalho realizou uma análise bibliométrica da utilização do sensoriamento remoto em estudos sobre queimadas no período de 2013 e 2023. Para além de uma análise quantitativa dos artigos, objetivou-se analisar a produção bibliográfica sob dois pontos de vista principais: Quais foram as principais metodologias aplicadas durante o período analisado? Quais temas ou abordagens são identificadas como promissoras para esta temática?

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a seleção de um portfólio bibliográfico relevante e com respaldo científico sobre a utilização de sensoriamento remoto em estudos sobre queimadas, foi aplicada a metodologia *Knowledge Development Process - Constructivist* (ProKnow-C) desenvolvido pelo Laboratório de Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (LabMCD), do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina – Brasil. O método consiste na seleção do portfólio bibliográfico e na realização das análises bibliométricas e sistêmicas desse conjunto de artigos.

A seleção inicial de artigos foi realizada com base na definição dos eixos de pesquisa e das palavras-chave associadas. Para isso, foram elaboradas cinco strings de busca a partir da combinação dessas palavras-chave, como, por exemplo, a String 1: “*fire detection*” AND “*remote sensing*”. No primeiro eixo, que trata do tipo de atividade a ser identificada pelo sensoriamento remoto, incluíram-se os termos “*fire detection*”, “*fire modeling*”, “*fire impacts*”, “*fire monitoring*” e “*fire dynamics*”. No segundo eixo, que se refere ao instrumento utilizado para a identificação das atividades, foi definido o termo “*remote sensing*”.

Posteriormente, foram estabelecidos os critérios de busca. A pesquisa foi conduzida nas bases de dados *Web of Science*, *ScienceDirect* e *Scopus*, abrangendo

apenas artigos em língua inglesa e publicados entre 2013 e 2023, com o objetivo de identificar artigos que contivessem as *strings* definidas em seus títulos.

Em todas as bases de dados, os resultados obtidos por meio das *strings* de busca foram exportados no formato RIS (*Research Information Systems*) para o gerenciador bibliográfico EndNote Online, da Clarivate Analytics, onde foram realizadas as etapas de filtragem.

Em seguida, para verificar a aderência das palavras-chave definidas, foram selecionados dois artigos do banco de artigos, cujos títulos indicavam uma possível adequação ao tema de pesquisa. Foram analisadas as palavras-chave empregadas pelos autores desses artigos, constatando-se uma correspondência com aquelas utilizadas no presente estudo. Dessa forma, o banco de artigos foi considerado alinhado com os objetivos da pesquisa.

Para a análise bibliométrica, os seguintes critérios foram estabelecidos: país da publicação, ano de publicação, autores e periódico publicado. Por fim, para a análise sistemática foram definidas as duas lentes de norteamto para o desenvolvimento da revisão: “Quais metodologias foram predominantemente empregadas nos artigos do portfólio bibliográfico?” e “Que temas ou abordagens são sugeridos como promissores para investigações futuras no portfólio bibliográfico?”.

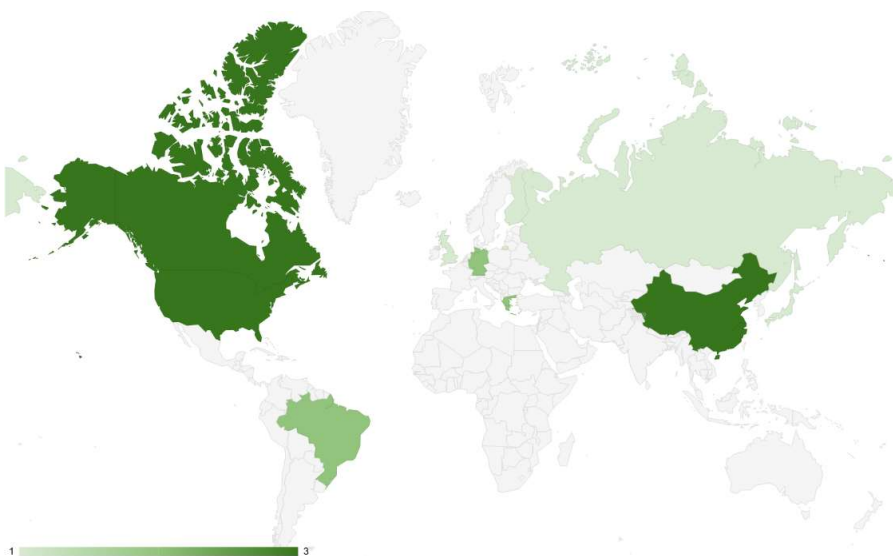
Após a seleção do banco de artigos, o processo de filtragem foi iniciado de acordo com sete etapas sistematizadas estabelecidas pela metodologia ProKnow-C. Essas etapas incluíram filtros relacionados à redundância, com a identificação de artigos duplicados, bem como a coerência dos títulos, resumos e textos integrais em relação ao tema de pesquisa. Além disso, foram aplicados filtros referentes ao reconhecimento científico dos artigos, a disponibilidade dos documentos completos e a recuperação de artigos eliminados devido a falta de confirmação do reconhecimento científico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Elaboração do Portfólio de Artigos

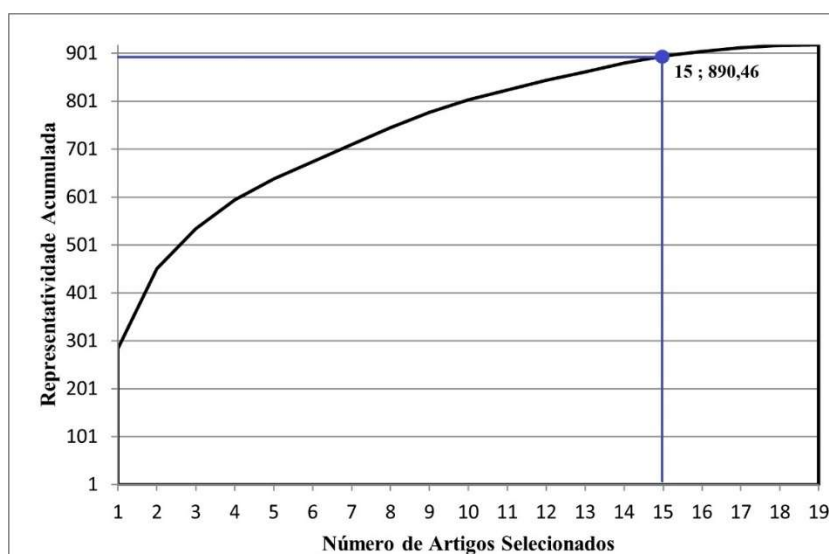
O primeiro levantamento dos artigos utilizando os termos apresentados na base retornou um portfólio de 80 artigos. Após a aplicação das etapas da metodologia, como a exclusão de duplicatas, análise de reconhecimento científico e aderência ao tema, esse portfólio foi reduzido para 19 artigos.

No tocante à distribuição espacial das pesquisas do portfólio, os artigos estão distribuídos em 10 países, a saber: China, Canadá e Estados Unidos com 3 artigos cada, Alemanha, Brasil e Grécia com dois artigos cada e Inglaterra, Finlândia, Japão e Rússia com 1 artigo cada.

Figura 1: Distribuição espacial das publicações do Portfólio de artigos

Fonte: Autoria Própria, 2025.

Na etapa da análise de reconhecimento científico, foram quantificadas as citações dos artigos. Ao todo, o portfólio possui 918 citações. Para quantificar a representatividade acumulada dos artigos, aplicou-se a curva ABC (Figura 2). O resultado dessa análise indicou que 15 artigos do portfólio, são responsáveis por 97% do total de citações, ou seja, 890 citações, todos apresentando, no mínimo, 10 citações.

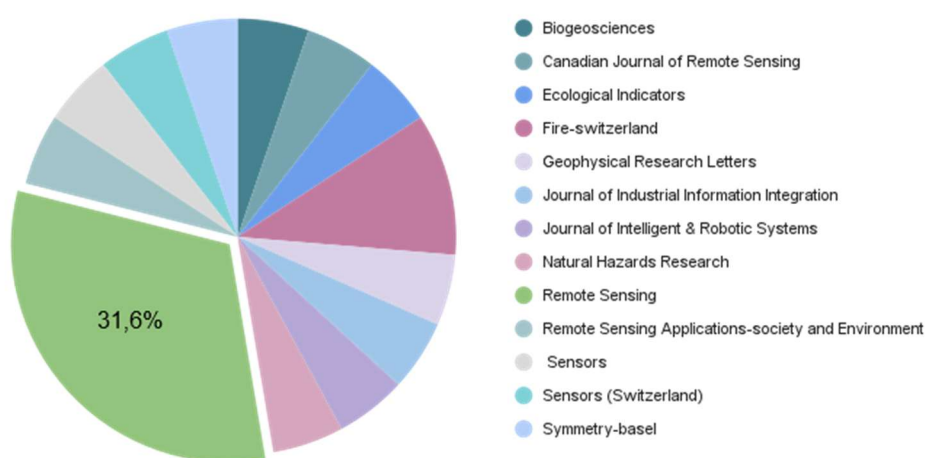
Figura 2: Representatividade acumulado dos 19 artigos selecionados

Além disso, foi verificada a disponibilidade de acesso ao texto integral dos 19 artigos. Utilizou-se o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para a obtenção integral dos artigos, sendo que todos foram acessados com sucesso. Com isso, o portfólio bibliográfico constituiu-se de 19 artigos, a saber: Thornberry *et al.* (2023), Yuan *et al.* (2017), Luz *et al.* (2022), Barmpoutis *et al.* (2020), Hendel *et al.* (2020), Jesus *et al.* (2022), Xofis *et al.* (2020), Janiec e Gadal (2020), Sizov *et al.* (2021), Ahmed *et al.* (2019), Florath e Keller (2022), Reiner *et al.* (2022), Tian *et al.* (2022), Mayr *et al.* (2018), Zhan *et al.* (2021), Coen *et al.* (2013), Kalantar *et al.* (2020), Esfahlani (2019) e Li *et al.* (2021).

Análise bibliométrica do banco de artigos e suas referências

Na análise bibliométrica do portfólio bibliográfico, verificou-se que o periódico com mais artigos publicados sobre o uso do sensoriamento remoto nos estudos sobre queimadas é o *Remote Sensing*, com 31,6% das publicações do portfólio (Figura 3), o equivalente a 6 artigos, seguido do *FIRE-SWITZERLAND*, com 2 publicações.

Figura 3: Periódicos com mais publicações para o portfólio de artigos



Fonte: Autoria Própria, 2025

O artigo com mais citações do portfólio é o “*A review on early forest fire detection systems using optical remote sensing*” de Barmpoutis *et al.*, com 284 citações, seguido “*Aerial Images-Based Forest Fire Detection for Firefighting Using Optical Remote Sensing Techniques and Unmanned Aerial Vehicles*” de Yuan *et al.*, com 167 citações, dispostos na Figura 4.

Quanto à análise temporal (Figura 5), observa-se uma crescente de 2018 a 2020, onde atinge o maior número de publicações (5 artigos), seguido de um declínio em

2021 e retorna ao pico em 2022, com 5 artigos publicados. No que se refere as palavras mais utilizadas nos trabalhos (Figura 6), destaca-se: *forest, fire, remote sensing, vegetation, forest fire, burned e detection*.

Figura 4: Número de citações dos artigos que compõe o portfólio

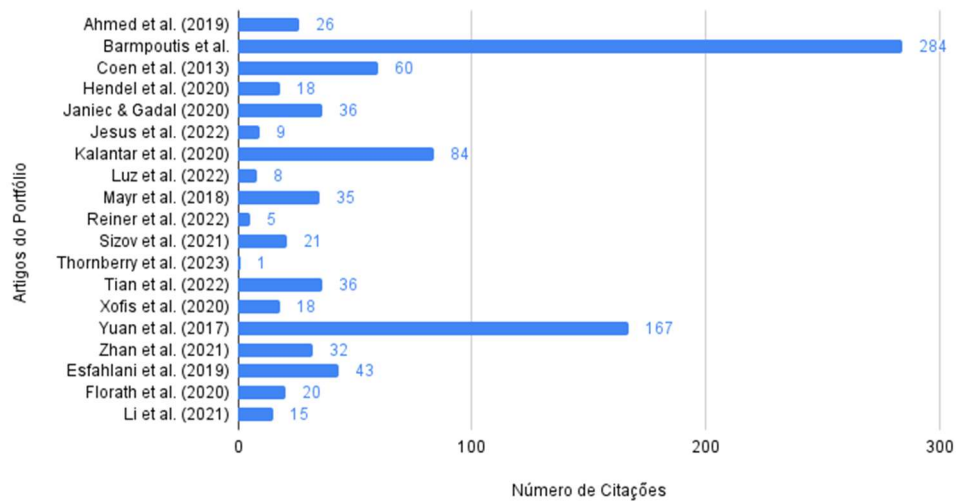


Figura 5: Quantidade de artigos do portfólio publicados por ano no período de estudo

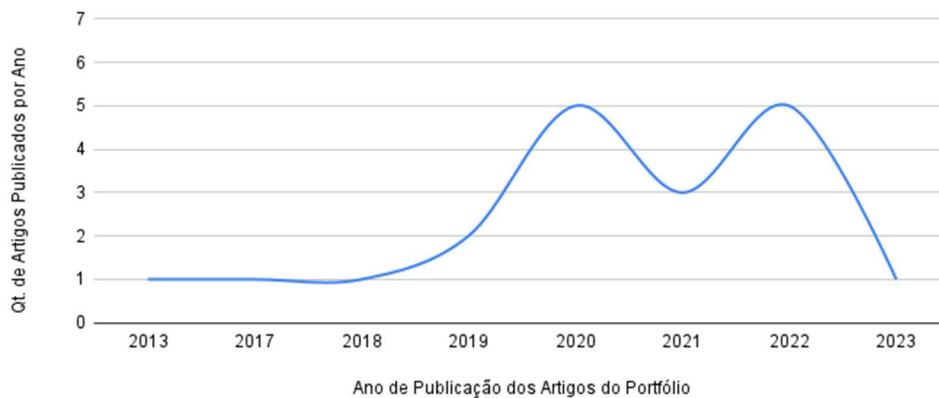


Figura 6: Nuvem de palavras mais utilizadas nos artigos do portfólio



Análise Sistemática do Portfólio Bibliográfico

A partir da análise do portfólio gerado, observa-se que, de maneira geral, o tema principal dos artigos é a detecção e análise de incêndios florestais. Estudos, como (Hendel e Ross 2020), discutem a aplicação de sensores térmicos para a detecção precoce de incêndios, além de comparar a relação custo-eficácia, a precisão radiométrica, a precisão espacial, o alcance e a resolução de três diferentes sensores térmicos instalados em aeronaves ou drones.

Adicionalmente, há pesquisas que exploram a relação entre eventos climáticos e a ocorrência de incêndios, como em (Jesus *et al.*, 2022) e (Xofis *et al.*, 2020). Bem como uma análise mais voltada para a avaliação dos fatores humanos, como é o caso do estudo de Janiec e Gadal, 2020.

Quais metodologias foram predominantemente empregadas nos artigos do portfólio bibliográfico?

A análise do portfólio indica que, de modo geral, os pesquisadores têm utilizado imagens de satélite e fotografias aéreas como ferramentas essenciais para a detecção de incêndios ativos, mapeamento de áreas queimadas e análise das alterações na vegetação pós-incêndio. Diversas fontes destacam o uso de índices espectrais na identificação de áreas impactadas e na avaliação da severidade das queimadas. Entre esses índices, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) se destaca e é amplamente utilizado em estudos como (Sizov *et al.*, 2021), (Ahmed *et al.*, 2019), (Janiec e Gadal, 2020) e (Florath e Keller 2022). O índice de diferença normalizada de água (NDWI) é outro índice frequentemente aplicado, conforme observado (Ahmed *et al.*, 2019), juntamente com o índice de queima normalizada (dNBR) e o índice de detecção de fogo ativo (HAFD3), que aparecem

em estudos (Florath e Keller 2022), e o relativized burn ratio (RBR), abordado por (Reiner *et al.*, 2022).

Além disso, técnicas de aprendizado de máquina têm ganho destaque na detecção de incêndios, mapeamento de áreas afetadas e previsão de risco. Algoritmos como o *Random Forest* (RF), um método de aprendizado por conjunto que utiliza múltiplas árvores de decisão para aprimorar a precisão, foram empregados em estudos como (Janiec e Gadal, 2020) e (Tian *et al.*, 2022). O algoritmo *Maximum Entropy* (MaxENT), comumente utilizado na modelagem de distribuição de espécies e aplicável na previsão da probabilidade de ocorrência de incêndios, foi adotado em investigações como (Janiec e Gadal, 2020). Em (Florath e Keller 2022), *Convolutional Neural Networks* (CNNs), um modelo de *deep learning* voltado para análise e classificação de imagens, foram aplicadas para identificar áreas afetadas pelo fogo.

Por fim, metodologias não supervisionadas, como a detecção de anomalias, foram utilizadas em estudos como (Luz *et al.*, 2022), onde foram identificados pontos que divergem do padrão esperado, simulando-se o comportamento do fogo. Nesses estudos, consideram-se uma variedade de fatores, como condições climáticas, tipo de combustível e topografia, visando prever pontos de incêndio em curtos intervalos de tempo subsequentes ao evento inicial.

Que temas ou abordagens são sugeridos como promissores para investigações futuras no portfólio bibliográfico?

Em (Sizov *et al.*, 2021) recomenda-se o desenvolvimento de estudos sobre o papel das mudanças climáticas, especialmente o aumento das temperaturas e a intensificação da evaporação, na promoção da suscetibilidade a incêndios. (Mayr *et al.*, 2018) abordam que a maioria dos estudos se concentra em áreas que já queimaram. Pesquisas futuras podem investigar os fatores que contribuem para que as áreas permaneçam não queimadas, mesmo em regiões propensas a incêndios. Isso pode levar a uma melhor compreensão dos regimes de incêndio e a estratégias aprimoradas de gerenciamento de incêndios. Além disso, os autores sugerem que entender como incêndios anteriores e o acúmulo de combustível afetam a atividade de incêndio atual é importante para prever ocorrências futuras.

Em (Reiner *et al.*, 2022) sugere-se a exploração do uso de bandas individuais de sensores remotos de satélite em vez de índices, pois, embora os índices sejam úteis para simplificar dados, podem levar à perda de informações. O autor argumenta que utilizar bandas individuais de sensores de satélite pode oferecer informações mais detalhadas e melhorar a precisão da modelagem dos efeitos do fogo.

Nos estudos relacionados à detecção de chamas, observa-se desafios na detecção noturna. A detecção de fumaça é eficaz durante o dia, mas desafiadora à noite. Para

garantir o monitoramento contínuo do fogo, pesquisas futuras devem explorar modelos de *deep learning* projetados especificamente para a detecção de chamas noturnas, utilizando sensores térmicos (Zhan *et al.*, 2021).

Em (Tian *et al.*, 2022) observa-se que uma única fonte de dados de sensoriamento remoto não atende simultaneamente aos requisitos de resolução temporal e espacial necessários para um monitoramento eficaz da propagação do fogo. Os autores recomendam o desenvolvimento de novos algoritmos ou técnicas para melhorar a integração e fusão de dados de múltiplas fontes de sensoriamento remoto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os impactos causados pelas queimadas afetam ecossistemas e populações. A utilização de sensoriamento remoto, em conjunto com inteligência artificial e Sistemas de Informações Geográficas, é essencial para o monitoramento e a previsão desses eventos, o que ajuda a mitigar seus impactos. A aplicação da metodologia ProKnow-C revelou-se eficaz para os objetivos estabelecidos, o que resultou na seleção de artigos relevantes. O portfólio bibliográfico gerado dessa análise, composto por 19 artigos, delineou de maneira abrangente o estado da arte relativo à aplicação de sensoriamento remoto em investigações sobre queimadas no período de 2013 a 2023.

Os resultados evidenciaram um crescente interesse na área, com publicações concentradas em periódicos renomados, como o *Remote Sensing*, e um número considerável de citações, indicando a influência e a qualidade do conhecimento produzido. Países como China, Estados Unidos e Canadá destacaram-se devido ao número de publicações sobre o tema. Além disso, a análise revelou que as metodologias mais empregadas incluem o uso de imagens de satélite e algoritmos de *machine learning*, o que reflete a inovação e a evolução das técnicas de pesquisa no campo. Além disso, as sugestões para investigações futuras apontam para áreas promissoras, como a relação entre mudanças climáticas e a suscetibilidade a incêndios, a exploração de bandas individuais de sensores remotos e o aprimoramento de modelos de *deep learning* para a detecção de chamas noturnas.

REFERÊNCIAS

AHMED, M. R.; HASSAN, Q. K.; ABDOLLAHI, M.; GUPTA, A. Introducing a new remote sensing-based model for forecasting forest fire danger conditions at a four-day scale. *Remote Sens (Basel)*, v. 11, n. 18, set. 2019.

BARMPOUTIS, P.; PAPAIOANNOU, P.; DIMITROPOULOS, K.; GRAMMALIDIS, N. A review on early forest fire detection systems using optical remote sensing. *Sensors (Switzerland)*, v. 20, n. 22, p. 1–26, nov. 2020.

COEN, J. L.; SCHROEDER, W. Use of spatially refined satellite remote sensing fire detection data to initialize and evaluate coupled weather-wildfire growth model simulations. *Geophysical Research Letters*, v. 40, n. 20, p. 5536–5541, 2013.

ESFAHLANI, S. S. Mixed reality and remote sensing application of unmanned aerial vehicle in fire and smoke detection. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 15, p. 42–49, 2019.

FLORATH, J.; KELLER, S. Supervised Machine Learning Approaches on Multispectral Remote Sensing Data for a Combined Detection of Fire and Burned Area. *Remote Sens (Basel)*, v. 14, n. 3, fev. 2022.

HENDEL, I. G.; ROSS, G. M. Efficacy of Remote Sensing in Early Forest Fire Detection: A Thermal Sensor Comparison. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v. 46, n. 4, p. 414–428, jul. 2020.

JAIN, P.; COOGAN, S. C. P.; SUBRAMANIAN, S. G.; CROWLEY, M.; TAYLOR, S.; FLANNIGAN, M. D. A review of machine learning applications in wildfire science and management. *arXiv*, arXiv:2003.00646, 2020.

JANIEC, P.; GADAL, S. A comparison of two machine learning classification methods for remote sensing predictive modeling of the forest fire in the north-eastern Siberia. *Remote Sens (Basel)*, v. 12, n. 24, p. 1–20, dez. 2020.

JESUS, C. S. L. de; DELGADO, R. C.; WANDERLEY, H. S.; TEODORO, P. E.; PEREIRA, M. G.; LIMA, M. et al. Fire risk associated with landscape changes, climatic events and remote sensing in the Atlantic Forest using ARIMA model. *Remote Sens Appl.*, v. 26, abr. 2022.

KALANTAR, B.; UEDA, N.; JANIZADEH, S.; AHMADI, K.; SHABANI, F. Forest Fire Susceptibility Prediction Based on Machine Learning Models with Resampling Algorithms on Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, v. 12, n. 22, p. 1–24, 2020.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. Landscape assessment: Remote sensing of severity, the normalized burn ratio and ground measure of severity, the composite burn index. In: *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*. General Technical Report RMRS-GTR-164-CD; LA1–LA51; U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: Fort Collins, CO, USA, 2005. p. 305–325.

LI, Q.; CUI, J.; JIANG, W.; JIAO, Q.; GONG, L.; ZHANG, J.; SHEN, X. Monitoring of the Fire in Muli County on March 28, 2020, based on high temporal-spatial resolution remote sensing techniques. *Natural Hazards Research*, v. 1, n. 1, p. 20–31, 2021.

LUZ, A. E. O.; NEGRI, R. G.; MASSI, K. G.; COLNAGO, M.; SILVA, E. A.; CASACA, W. Mapping Fire Susceptibility in the Brazilian Amazon Forests Using Multitemporal

Remote Sensing and Time-Varying Unsupervised Anomaly Detection. *Remote Sens (Basel)*, v. 14, n. 10, maio 2022.

MAYR, M. J.; VANSELOW, K. A.; SAMIMI, C. Fire regimes at the arid fringe: A 16-year remote sensing perspective (2000–2016) on the controls of fire activity in Namibia from spatial predictive models. *Ecol Indic.*, v. 91, p. 324–337, ago. 2018.

PRESTES, N. C. C. da S.; MASSI, K. G.; SILVA, E. A.; NOGUEIRA, D. S.; de OLIVEIRA, E. A.; FREITAG, R.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; KELLER, M.; FELDPAUSCH, T. R. Fire effects on understory forest regeneration in southern Amazonia. *Front. For. Glob. Chang.*, v. 3, p. 10, 2020.

REINER, A. L.; BAKER, C.; WAHLBERG, M.; RAU, B. M.; BIRCH, J. D. Region-Specific Remote-Sensing Models for Predicting Burn Severity, Basal Area Change, and Canopy Cover Change following Fire in the Southwestern United States. *Fire*, v. 5, n. 5, out. 2022.

SIZOV, O.; EZHOVA, E.; TSYMBAROVICH, P.; SOROMOTIN, A.; PRIHOD'KO, N.; PETÄJÄ, T. et al. Fire and vegetation dynamics in northwest Siberia during the last 60 years based on high-resolution remote sensing. *Biogeosciences*, v. 18, n. 1, p. 207–228, jan. 2021.

TANASE, M. A.; APONTE, C.; MERMOZ, S.; BOUVET, A.; LE TOAN, T.; HEURICH, M. Detection of windthrows and insect outbreaks by L-band SAR: A case study in the Bavarian Forest National Park. *Remote Sens. Environ.*, v. 209, p. 700–711, 2018.

THORNBERRY, T. D.; GAO, R. S.; CICIORA, S. J.; WATTS, L. A.; McLAUGHLIN, R. J.; LEONARDI, A. et al. A Lightweight Remote Sensing Payload for Wildfire Detection and Fire Radiative Power Measurements. *Sensors*, v. 23, n. 7, abr. 2023.

TIAN, Y.; WU, Z.; LI, M.; WANG, B.; ZHANG, X. Forest Fire Spread Monitoring and Vegetation Dynamics Detection Based on Multi-Source Remote Sensing Images. *Remote Sens (Basel)*, v. 14, n. 18, set. 2022.

XOFIS, P.; KONSTANTINIDIS, P.; PAPADOPOULOS, I.; TSIURLIS, G. Integrating remote sensing methods and fire simulation models to estimate fire hazard in a south-east Mediterranean protected area. *Fire*, v. 3, n. 3, p. 1–23, set. 2020.

YUAN, C.; LIU, Z.; ZHANG, Y. Aerial Images-Based Forest Fire Detection for Firefighting Using Optical Remote Sensing Techniques and Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, v. 88, n. 2–4, p. 635–654, dez. 2017.

ZHAN, J.; HU, Y.; CAI, W.; ZHOU, G.; LI, L. PDAM–STPNnet: A small target detection approach for wildland fire smoke through remote sensing images. *Symmetry (Basel)*, v. 13, n. 12, dez. 2021.

Contato com o autor: contatobrunoberkamp@gmail.com

Recebido em: 10/10/2025

Aprovado em: 25/10/2026