

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

PADRÕES TEMPORAIS E ESPACIAIS DAS QUEIMADAS NA BACIA DO IPANEMA, PERNAMBUCO

*Thayná Alice Brito Almeida¹; Abelardo Antônio de Assunção Montenegro¹ & João Pedroso de
Lima²*

Abstract: Land use and land cover changes in the Brazilian semiarid region have intensified in recent years, driven by both climate change and anthropogenic activities, contributing to land degradation and the advancement of desertification. In this context, this study aimed to evaluate the spatial and temporal patterns of wildfires in the Ipanema River Basin, Pernambuco, and their relationship with precipitation and land use. Remote sensing data (CHIRPS, MapBiomas, and BDQueimadas/INPE), processed using Google Earth Engine and QGIS, were used to analyze time series of precipitation, fire occurrences, and land use and land cover from 2014 to 2022. The results revealed a significant increase in fire events, particularly between August and October, with an annual trend of 1.19 fire foci per year and abrupt changes detected after 2018. Over the study period, there was a 9.33% reduction in native vegetation (Caatinga) and an 11% increase in agricultural and non-vegetated areas. A strong positive correlation ($R^2 = 0.8$) was observed between rainfall variability and fire incidence, highlighting the influence of climatic variability on land degradation processes. These findings emphasize the growing environmental vulnerability of the region to land use pressures and climate extremes, reinforcing the need for integrated strategies for environmental monitoring, sustainable land management, and natural resource conservation in semiarid landscapes.

Resumo: As mudanças no uso e cobertura do solo no semiárido brasileiro vêm se intensificando, impulsionadas tanto pelas mudanças climáticas quanto pelas atividades antrópicas, o que tem contribuído para a degradação e o avanço da desertificação. Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar os padrões espaciais e temporais das queimadas na Bacia do Ipanema, em Pernambuco, relacionando seus efeitos com a precipitação e o uso do solo. A partir de dados obtidos por sensoriamento remoto (CHIRPS, MapBiomas e BDQueimadas/INPE) e processados em ambiente Google Earth Engine e QGIS, foram analisadas séries temporais de precipitação, focos de queimadas e mapas de uso e cobertura do solo entre os anos de 2014 e 2022. Os resultados indicaram aumento significativo na ocorrência de queimadas, sobretudo entre os meses de agosto e outubro, com uma tendência de 1,19 focos por ano, com mudanças abruptas a partir de 2018. Durante o período analisado, observou-se uma redução de 9,33% na cobertura vegetal (Caatinga) e aumento de 11% em áreas agrícolas e não vegetadas. Além disso, verificou-se uma correlação positiva ($R^2 = 0,8$) entre a variabilidade das precipitações e a incidência dos incêndios, evidenciando a influência do clima nos processos de degradação. Esses resultados ressaltam a vulnerabilidade da região frente às mudanças no clima e no uso da terra, indicando a urgência de estratégias integradas de manejo ambiental e conservação dos recursos naturais.

Palavras-Chave – queimadas, semiárido brasileiro, uso e cobertura do solo

1) Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, PE, Brasil, e-mail: thayna_tau@hotmail.com; montenegro.ufrpe@gmail.com
2) Universidade de Coimbra – UC, Coimbra, Portugal, e-mail: plima@dec.uc.pt

INTRODUÇÃO

A degradação do solo é um desafio ambiental global, resultando na deterioração de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Esse processo compromete a segurança alimentar, prejudica os serviços ecossistêmicos, afeta os meios de subsistência e reduz a qualidade de vida (Kumar et al., 2022). No Brasil, os impactos da degradação são mais severos no semiárido nordestino, onde fatores climáticos, como a alta variabilidade das chuvas, aliados ao uso intensivo da terra, tornam a região particularmente vulnerável às mudanças climáticas (Refati et al., 2023; IPCC, 2014).

Nesse contexto, as queimadas representam um dos principais agentes de degradação ambiental. Em climas semiáridos, como o da Bacia do Ipanema, em Pernambuco, o risco de incêndios é elevado devido às altas temperaturas e aos longos períodos de estiagem (Stavi, 2019). Embora alguns focos tenham origem natural, a maioria resulta de ações antrópicas, como queimadas prescritas ou práticas agrícolas tradicionais voltadas à limpeza e preparação do solo (Marinho et al., 2021; Abreu et al., 2022). Apesar de seu uso recorrente na agricultura familiar, essas práticas geram impactos ambientais expressivos, especialmente em áreas de preservação, como perda de biodiversidade, destruição da cobertura vegetal e alteração nas propriedades do solo (Zema, 2021). Além dos efeitos ecológicos, as queimadas também impactam negativamente os recursos hídricos, ao reduzir a infiltração, aumentar o escoamento superficial e comprometer a qualidade da água nos corpos hídricos locais.

As queimadas, naturais ou provocadas, afetam diretamente os processos hidrológicos e geomorfológicos, intensificando o escoamento superficial, a erosão do solo e a degradação de encostas e cursos d'água (Thomas et al., 2021; Lucas-Borja et al., 2022), contribuindo para processos de degradação persistentes mesmo após a extinção do fogo. A compreensão da frequência e distribuição das queimadas é essencial para o manejo sustentável dos ecossistemas, especialmente em regiões semiáridas, onde a variabilidade climática e o uso intensivo da terra favorecem a recorrência do fogo. Segundo Abreu et al. (2023), abordagens estatísticas, têm se mostrado promissoras para analisar padrões temporais e espaciais de áreas queimadas, permitindo identificar sazonalidades, tendências e potenciais extremos ainda não observados. Embora tais ferramentas sejam amplamente aplicadas em estudos hidrológicos e ambientais, sua aplicação para análise de queimadas ainda é limitada em muitas regiões do Brasil, o que evidencia a necessidade de mais investigações voltadas à dinâmica do fogo em diferentes biomas e escalas. Além disso, compreender a relação entre fogo e recursos hídricos é essencial para a gestão integrada de bacias hidrográficas, principalmente em regiões com escassez hídrica.

Nesse contexto, estudos que integrem informações sobre uso do solo, clima e focos de queimadas tornam-se estratégicos para subsidiar políticas públicas voltadas à prevenção de incêndios e conservação dos recursos naturais. O presente estudo tem como objetivo analisar os padrões temporais e espaciais das queimadas na Bacia do Ipanema, em Pernambuco, visando compreender suas dinâmicas e impactos no contexto semiárido.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido considerando os limites da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema (BRI), situada na região Nordeste do Brasil, em uma área conhecida como Polígono das Secas. A BRI integra a Bacia do Rio São Francisco, uma das mais importantes do país. A área da BRI selecionada para este estudo possui uma drenagem de 6.217 km², localizada entre as coordenadas 8°18'–9°23'S e 36°36'–37°28'W (Figura 1). Essa região é composta por rios e riachos efêmeros, que formam vales aluviais. O clima local é marcado por longos períodos de estiagem e intensas disputas

pelo uso da água (Coelho et al., 2017). Essas disputas evidenciam a pressão sobre os recursos hídricos, cuja disponibilidade é sensivelmente afetada por eventos de queimadas que alteram a capacidade de recarga do aquífero e a integridade das zonas ripárias.

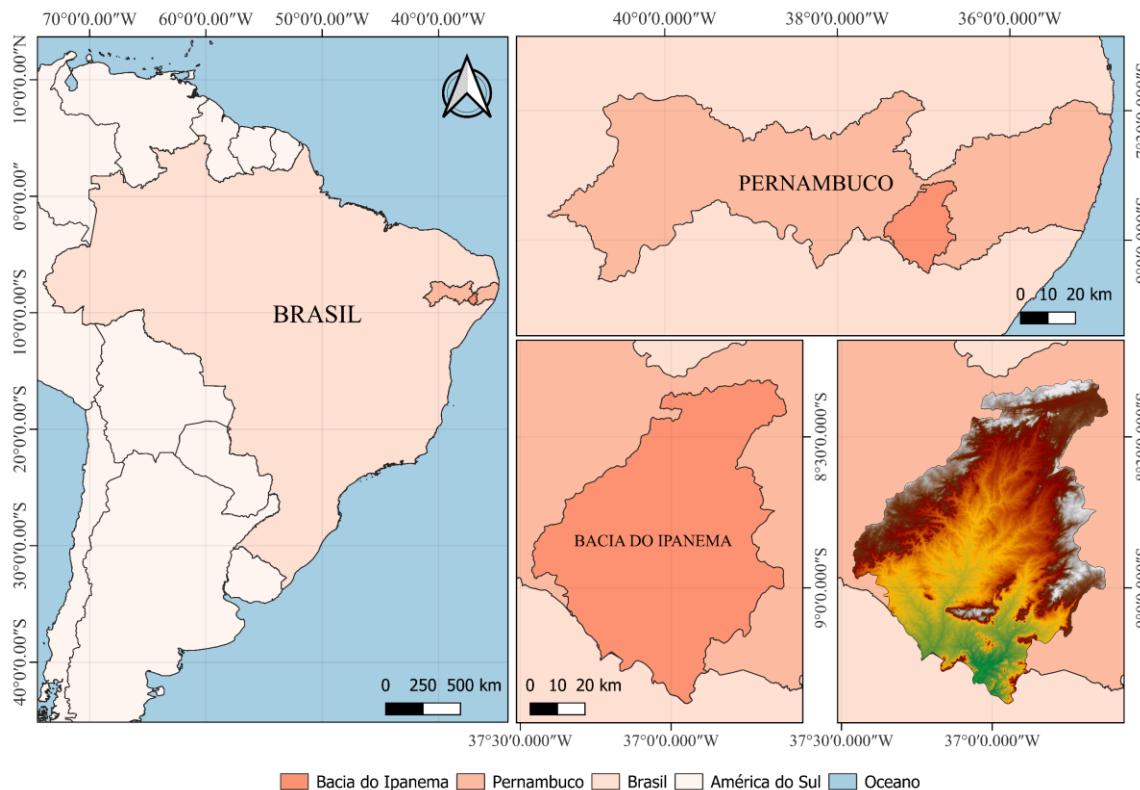


Figura 1- Localização da área de Estudo

A precipitação média anual na área de estudo é de aproximadamente 700 mm, concentrando-se principalmente entre os meses de março e maio (Montenegro e Montenegro, 2006). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é semiárido muito quente, com temperaturas médias superiores a 23 °C. A evapotranspiração de referência é elevada, podendo ultrapassar 1.800 mm por ano, o que acentua o déficit hídrico na maior parte do ano. A vegetação natural predominante é a Caatinga.

Dados de Satélites

Foram utilizados dados do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS), abrangendo o período de 2014 a 2022 (https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG_CHIRPS_DAILY), os quais contemplam os paralelos entre 08°18'S e 09°12'S e os meridianos entre 36°00'W e 38°00'W. A precisão dos dados do CHIRPS o torna uma excelente alternativa para regiões onde há escassez de dados mais precisos, como os provenientes de pluviômetros no Brasil (Sousa et al., 2023). A elevação e a declividade foram derivadas do Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução de 30 metros (Farr e Kobrick, 2000). Os dados geoespaciais foram obtidos do Projeto MapBiomas Brasil (2022), abrangendo informações sobre uso e cobertura da terra, derivadas da série de satélites Landsat entre 2014 e 2022. Foi empregada uma metodologia de baixo custo e de acesso aberto para a produção de mapas temáticos anuais, abrangendo até 105 camadas de

informação sobre uso e cobertura da terra. Essa validação abrangente incluiu categorias como formações florestais naturais e não naturais, agricultura, áreas não vegetadas e corpos hídricos (Projeto MapBiomas Brasil, 2022).

Dados foram também obtidos via CPTEC/INPE por meio do banco de dados BDQueimadas (CPTEC/INPE, 2023). Atualmente, o CPTEC/INPE utiliza diversos satélites ambientais de órbita polar e geoestacionária para o monitoramento de “focos de queima” na América do Sul. Neste estudo, foram analisadas séries temporais de longo prazo na BRI entre os anos de 2014 e 2022. Os dados foram extraídos por meio de um algoritmo em formato anual. Os dados obtidos do BDQueimadas, denominados “*fire foci*”, são definidos com base em pixels que apresentam temperaturas elevadas. Esses pixels são caracterizados pelos menores valores de nível de cinza nas imagens da faixa 3 (3,7 μ m) da região do infravermelho térmico do sensor AVHRR. Os critérios de identificação incluem uma área mínima de 1 km². A detecção pode indicar diferentes fenômenos, incluindo uma queimada, uma parte de um incêndio ou outra fonte de alta temperatura.

Análise estatística

O registro temporal dos focos de queima foi avaliado pelo teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) e pelo método da inclinação de Sen (Sen, 1968), com o objetivo de verificar a existência de tendência significativa e estimar sua magnitude. O método STL (Seasonal-Trend Decomposition Procedure based on Loess) emprega regressão local ponderada robusta para suavização (Cleveland et al., 1979), utilizando o algoritmo LOESS (locally weighted scatterplot smoothing) como componente (Cleveland e Devlin, 1988). Para identificar o ano em que ocorreu uma mudança abrupta na média da série temporal, foi aplicado o teste de Pettitt (Pettitt, 1979). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 ilustra um padrão discernível de variabilidade de focos de queimadas na Bacia do Rio Ipanema (BRI), com as ocorrências mais significativas registradas entre os meses de agosto e outubro. Os resultados demonstraram evidências estatisticamente significativas de uma tendência de aumento ($z > \alpha$) nos registros de focos de incêndios florestais dentro do bioma, conforme indicado pelo teste de Mann-Kendall. Além disso, a inclinação de Sen apontou uma magnitude de aumento de 1,19 foco de queimada por ano.

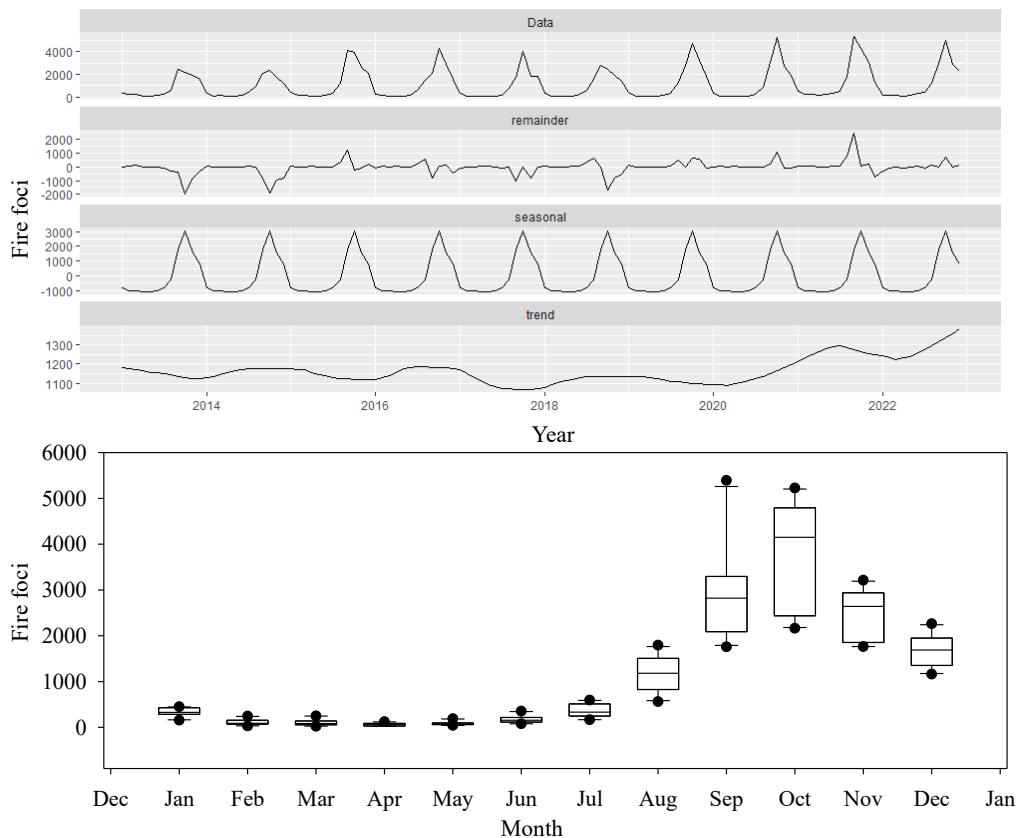


Figura 2- Série temporal anual e distribuição mensal dos focos de queimadas de 2014 a 2020.

A aplicação do filtro STL revelou uma sazonalidade nos dados, com um aumento notável de focos de queimadas durante a estação seca e uma redução durante a estação chuvosa. O teste de Pettitt identificou uma mudança significativa na série temporal de focos de calor nos anos de 2018 e 2019 (Figura 2), coincidindo com um aumento expressivo das queimadas. A irregularidade do regime de chuvas no semiárido brasileiro tem sido associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a qual pode resultar em eventos climáticos extremos, como secas ou chuvas intensas (Tinoco et al., 2018). A Figura 3 ilustra a distribuição espacial da precipitação entre os anos de 2014 e 2022.

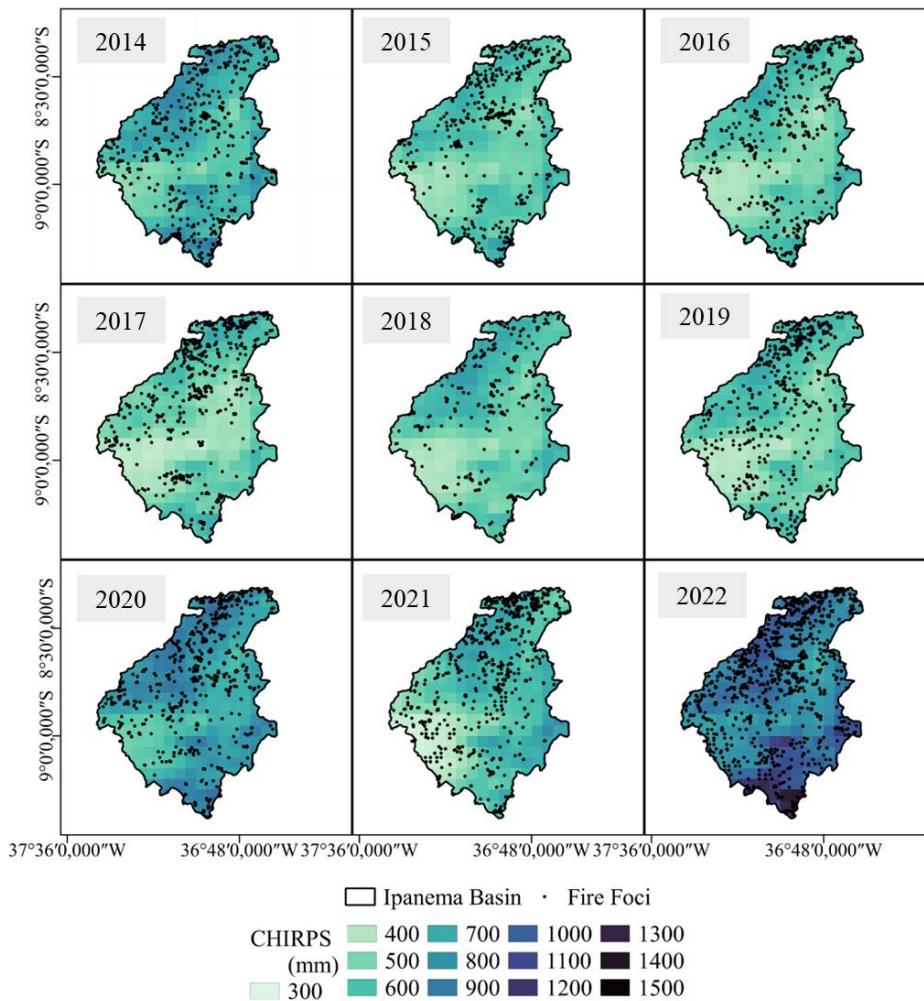


Figura 3-Distribuição espacial da precipitação de 2014 a 2022 na Bacia do Rio Ipanema, região semiárida brasileira.

Na Bacia do Rio Ipanema, os mapas destacam padrões predominantes de precipitação entre 400 e 900 mm (representados por pixels em azul claro) e entre 1000 e 1500 mm (representados por pixels em azul escuro). Os valores médios, mínimos e máximos de precipitação para os anos de 2014 a 2022 estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição da precipitação entre 2014 e 2022

Ano	Precipitação Média (mm)	Precipitação Máxima (mm)	Precipitação Mínima (mm)
2014	654,2	922,7	416,9
2015	557,8	767,2	371,9
2016	540,7	778,6	353,4
2017	518,3	720,2	345,5
2018	558,1	774,7	352,3
2019	540,6	727,8	349,1
2020	741,4	990,6	471,2
2021	585,5	857,8	289,8

2022 903,1 1399,8 641,9

Com base na estatística exploratória e descritiva, o período de estudo (2013 a 2020) registrou um total de 4718 focos de queimada na BRI. As análises descritivas revelaram uma média anual de 590 focos de queimada com desvio padrão de ± 159 , e uma mediana de 620 focos distribuídos ao longo da bacia. Os valores máximos e mínimos ocorreram, respectivamente, nos anos de 2020 (813 focos) e 2017 (301 focos). Foi observada uma correlação positiva entre a ocorrência de queimadas e a precipitação, com um valor de R^2 igual a 0,8.

A relação entre queimadas e precipitação observada neste estudo também possui implicações diretas sobre a disponibilidade hídrica da bacia. Incêndios em áreas de recarga comprometem o armazenamento de água no solo e intensificam o escoamento superficial, dificultando a infiltração e a recarga dos aquíferos. A degradação da vegetação nas margens dos cursos d'água pode, ainda, afetar a qualidade e a estabilidade hídrica ao longo do ano. Ademais, ressalta-se que a formação de um gradiente de focos de queimada está provavelmente associada a mudanças no uso e ocupação do solo, especialmente aquelas ligadas à atividade agrícola (conforme ilustrado na Figura 4). Tais achados corroboram com Coelho et al., (2017) que destacam que grande parte da vegetação nativa da Caatinga foi desmatada para práticas de agricultura extensiva, criação de gado e agricultura familiar de sequeiro, restando áreas mais preservadas e densas de vegetação da bacia estão localizadas em altitudes mais elevadas.

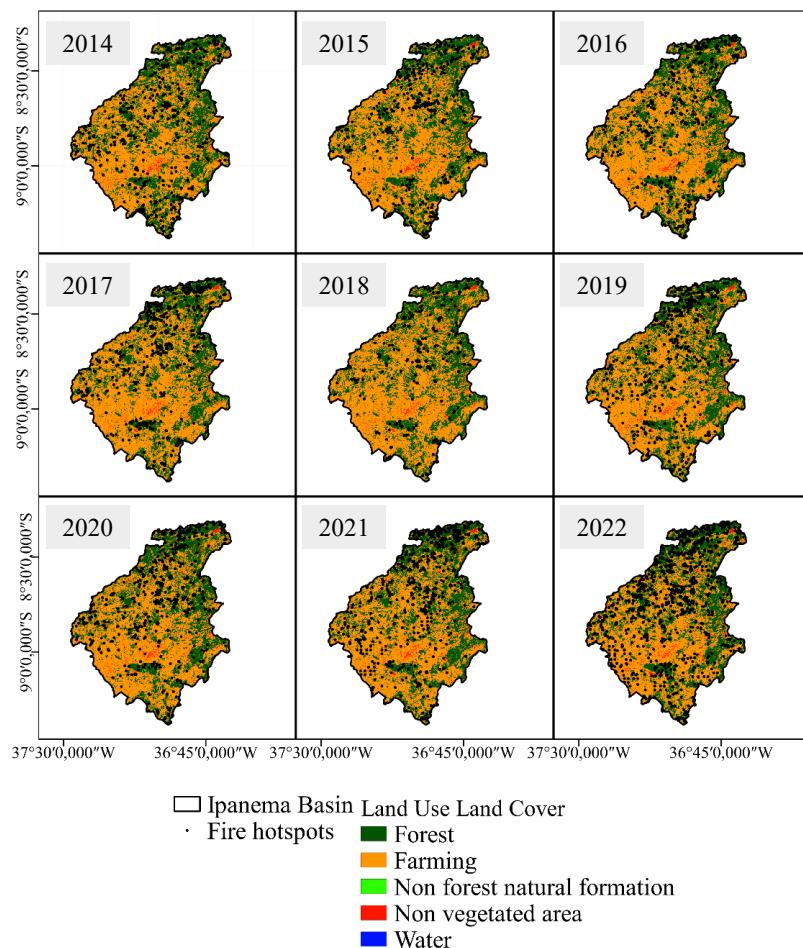


Figura 4-Distribuição espacial do uso e cobertura da terra entre 2014 e 2022 na Bacia do Rio Ipanema, região semiárida brasileira.

No período analisado, observou-se uma redução de 9,33% na cobertura florestal, acompanhada por um aumento de 11% em áreas destinadas à agricultura e áreas não vegetadas. As queimadas e seus processos podem provocar diversos danos aos diferentes componentes do bioma, tais como: (I) perda de espécies vegetais nativas; (II) exposição, destruição e enfraquecimento da camada orgânica do solo; alterações nas propriedades físicas do solo (porosidade e permeabilidade à água); ocorrência de deslizamentos e erosão; (III) mortalidade de animais, destruição de ninhos e modificação do habitat (com migração de espécies em busca de alimento e abrigo); entre outros (Roth et al., 2023; Vieira et al., 2023; Kruge et al., 2023).

Destaca-se que entre os principais fatores que contribuem para perdas substanciais nos serviços ecossistêmicos da região Nordeste do Brasil estão os desequilíbrios resultantes do desmatamento, queimadas, uso inadequado da água para irrigação, práticas agrícolas intensivas e manejo inadequado da terra. Tais desequilíbrios afetam diretamente a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos, comprometendo tanto o abastecimento humano quanto os usos agropecuários e ecológicos da água.

CONCLUSÃO

Observou-se uma forte correlação entre incêndios e áreas agrícolas, com tendências crescentes apontando para a conversão de terras para áreas agrícolas em todos os biomas. A alta probabilidade de incêndios indica que a expansão de áreas agrícolas por meio da conversão de biomas naturais impacta diversos ecossistemas naturais, transformando a cobertura e o uso da terra. Essa conversão de terras está promovendo mais incêndios a cada ano. A perda de vegetação nativa e o aumento de áreas queimadas comprometem a recarga hídrica, a estabilidade dos fluxos nos cursos d'água e aumentam o risco de degradação de mananciais. Assim, políticas públicas de prevenção de queimadas devem considerar não apenas os aspectos ambientais e agrícolas, mas também a conservação e gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas semiáridas.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), à FACEPE (BFP-0092-5.03/24), à CAPES, CNPq (11.588/2023-9) e à Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP pelo financiamento e suporte ao projeto de pesquisa

REFERÊNCIAS

- Abreu, M. C., Lyra, G. B., de Oliveira-Júnior, J. F., Souza, A., Pobočíková, I., de Souza Fraga, M., & Abreu, R. C. R. (2022). Temporal and spatial patterns of fire activity in three biomes of Brazil. *Science of the Total Environment*, 844(June 2021). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157138>
- Abreu, R.C.R., Durigan, G., Melo, A.C.G., Pilon, N.A.L., Hoffmann, W.A., 2021. Facilitation by isolated trees triggers woody encroachment and a biome shift at the savanna–forest transition. *J. Appl. Ecol.* 58 (11), 2650–2660. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13994>.

Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). BDQueimadas— Banco de Dados Queimadas. Available online: <http://www.cptec.inpe.br/queimadas/>

Cleveland, W.S., Devlin, S.J., 1988. Locally Weighted Regression: An Approach to Regression Analysis by Local Fitting. *J. Am. Stat. Assoc.*, 83(403), 596-610.

Coelho, V.H.R.; Montenegro, S.M.G.L.; Almeida, C.N.; Silva, B.B.; Oliveira, L.M.M.; Gusmao, A.C.V.; Freitas, E.S.; Montenegro, A.A.A., 2017. Alluvial groundwater recharge estimation in semi-arid environment using remotely sensed data. *J. Hydrol.* 548, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.02.054>

Farr, T. G., & Kobrick, M. (2000). Shuttle Radar Topography Mission Produces a Wealth of Data. *Eos Transactions American Geophysical Union*, 81, 583-585. <https://doi.org/10.1029/EO081i048p00583>

Kendall M. G. 1975. Rank Correlation Methods. Griffin, London.

Kruger, B.R., Hausner, M.B., Chellman, N., Weaver, M., Samburova, V., Khlystov, A., 2023. Dissolved black carbon as a potential driver of surface water heating dynamics in wildfire-impacted regions: A case study from Pyramid Lake, NV, USA. *Science of the Total Environment* 888, 164141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164141>

Lucas-Borja, M.E; Plaza-Álvares, P.A.; Uddin, S.M.M.; Parhizkar, M.; Zema, D.A. Short-term hydrological response of soil after wildfire in a semi-arid landscape covered by *Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth. *Journal of Arid Environments*, v.198, 2022.

Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245–259. doi:10.2307/1907187

Marinho, A.A.R., Gois, G. de, Oliveira-Júnior, J.F. de, Correia Filho, W.L.F., Santiago, D. de B., Silva Junior, C.A. da, Teodoro, P.E., de Souza, A., Capristo-Silva, G.F., Freitas, W.K. de, Rogério, J.P., 2021. Temporal record and spatial distribution of fire foci in State of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Environmental Management* 280. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111707>

Montenegro, A.A.A., Montenegro, S.M.G.L., 2006. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 10, 30–37. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662006000100005>

Pettitt, A. N., 1979. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *J R Stat Soc Series C (Applied Statistics)*, 28 (2), pp. 126-135. <https://doi.org/10.2307/2346729>

R Core Team, 2020. Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Refati, D.C., Silva, J.L.B. da, Macedo, R.S., Lima, R. da C.C., Silva, M.V. da, Pandorfi, H., Silva, P.C., Oliveira-Júnior, J.F. de, 2023. Influence of drought and anthropogenic pressures on land use and land cover change in the brazilian semiarid region. *Journal of South American Earth Sciences* 126. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104362>

Roth, H.K., McKenna, A.M., Simpson, M.J., Chen, H., Srikanthan, N., Fegel, T.S., Nelson, A.R., Rhoades, C.C., Wilkins, M.J., Borch, T., 2023. Effects of burn severity on organic nitrogen and carbon chemistry in high-elevation forest soils. *Soil & Environmental Health* 1, 100023. <https://doi.org/10.1016/j.seh.2023.100023>

Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J Am Stat Assoc*, 63(324), 1379–1389.

Stavi, I. Wildfires in grasslands and shrublands: a review of impacts on vegetation, soil, hydrology, and geomorphology. 2019. *Water*, 11, p. 1042, 2019.

Thomas, G.; Rosalie, V.; Olivier, C.; Girolamo, A.M.; Lo Porto, A. Modelling forest fire and firebreak scenarios in a Mediterranean mountainous catchment: Impacts on sediment loads. *Journal of Environmental Management*, n.289, p.11-0, 2021.

Tinôco, I.C.M., Bezerra, B.G., Lucio, P.S., Barbosa, L.M., 2018. Characterization of rainfall patterns in the semiarid Brazil. *Anu. Inst. Geoscienc.* 41, 397–409. https://doi.org/10.11137/2018_2_397_409.

Zema, D.A., Plaza-Alvarez, P.A., Xu, X., Carra, B.G., Lucas-Borja, M.E., 2021a. Influence of forest stand age on soil water repellency and hydraulic conductivity in the Mediterranean environment. *Sci. Total Environ.* 753, 142006.