



ANAIS do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Brasília-DF, 20-23 de Abril de 2022



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia (CBE) disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

MORAIS, F.; NASCIMENTO, H. R.. As queimadas como fator de impacto sobre as cavernas no carste de Aurora do Tocantins In: MOMOLI, R. S.; STUMP, C. F.; VIEIRA, J. D. G.; ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 36, 2022. Brasília. *Anais...* Campinas: SBE, 2022. p.545-552. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais36cbe/36cbe_545-552.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

AS QUEIMADAS COMO FATOR DE IMPACTO SOBRE AS CAVERNAS NO CARSTE DE AURORA DO TOCANTINS

WILDFIRES AS AN IMPACT FACTOR ON THE CAVES IN THE AURORA DO TOCANTINS KARST

Fernando MORAIS (1); Heloísa Rodrigues NASCIMENTO (2)

(1) Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins (UFT).

(2) Programas de Pós-Graduação em Geografia e Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins (UFT).

Contatos: morais@uft.edu.br; helois@ift.edu.br

Resumo

A ação humana sobre os ambientes cársticos tem desencadeado diferentes distúrbios no equilíbrio destes sistemas ambientais. Ainda que a vegetação seja bastante abordada nos estudos sobre impactos antrópicos no carste, as queimadas são pouco referenciadas como fator de supressão da massa vegetal e consequente desequilíbrio ambiental. Este estudo apresenta as queimadas como um fator de desequilíbrio na dinâmica ambiental na região conhecida como carste de Aurora do Tocantins, região norte do Brasil. Obtidos a partir da documentação e análise dos dados de localização das cavernas e dos focos de incêndios na área de estudo, os resultados explicitaram que várias feições vêm sendo impactadas pela ocorrência de queimadas, e que grande parte dos focos de queimadas na área de estudo estão sobre uma zona com grande potencial espeleológico ainda pouco explorada.

Palavras-Chave: Fogo; Cavernas; Impactos ambientais no carste; Densidade Kernel.

Abstract

Human action on karst environments has triggered different disturbances in the balance of these environmental systems. Although vegetation is widely discussed in studies on anthropic impacts on karst, fires are rarely mentioned as a factor in suppressing plant mass and consequent environmental imbalance. This study presents the fires as an imbalance factor in the environmental dynamics in the region known as Aurora do Tocantins karst, northern region of Brazil. Obtained from the documentation and analysis of data on the location of caves and fires in the study area, the results showed that several features have been impacted by the occurrence of fires, and that most of the fires in the study area are over an area with great speleological potential still little explored.

Keywords: Fire; Caves; Environmental Impacts in Karst; Kernel Density.

1. INTRODUÇÃO

A relação do ser humano com as cavernas remete aos mais longínquos tempos de sua existência. É sabido que tal relação nem sempre se deu, ou se dá, de maneira equilibrada, causando, por vezes, distúrbios irreversíveis às cavernas, quando não ao sistema cárstico como um todo.

Os impactos de origem antrópica sobre os sistemas cársticos têm sido foco de várias discussões sintetizadas em publicações de *Special Issues* de renomados periódicos internacionais, como constata-se em Williams (1993), Ford (1993), Parise; De Waele e Gutierrez (2009) e Brinkman e Parise (2012), além de serem também discutidos proficuamente em seções dedicadas a esta temática em obras de referência sobre o carste pelo mundo (e.g. GILLIESON, 1996; FORD; WILLIAMS, 1989 e 2007; GILLI, 2015).

Dos diversos impactos ambientais costumeiramente constatados nos ambientes cársticos, Williams (1993) destaca o desflorestamento como uma atividade humana que afeta diretamente a biota e a dinâmica hidrológica, culminando no empobrecimento ecológico desses ambientes. Da mesma forma, Urich (2002) põe de manifesto os impactos nos geo-ecossistemas cavernícolas, contemplando a agricultura como uma das atividades responsáveis pela supressão da vegetação com consequente desequilíbrio na dinâmica geomorfológica e ambiental dos terrenos cársticos.

A despeito das várias discussões sobre os impactos de origem antrópica nos sistemas cársticos, o papel do fogo como elemento de degradação destes sistemas ainda é uma lacuna a ser explorada pela ciência (COLEBORN et al., 2018;

BIAN et al., 2019), sobretudo no Brasil, que vem perdendo continuamente parte de seus ecossistemas naturais em função de queimadas (PIVELLO et al., 2021). À vista disto, o presente estudo teve como objetivo a espacialização dos focos e cicatrizes de queimadas na área cárstica de Aurora do Tocantins. Aspirou-se ainda avaliar a proximidade dos focos e cicatrizes de queimadas com as cavernas como um fator de degradação ambiental dos sistemas cársticos no Sudeste do Tocantins.

1.1 Área de Estudo

O Estado do Tocantins, ocupa a 6ª posição em número de cavernas no Brasil, com presença de 939 feições cadastradas, representando 4,16% do total nacional, de acordo com consulta ao Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE/CECAV) realizada em 14 de dezembro de 2021.

A área cárstica de Aurora do Tocantins situa-se na porção Sudeste do estado, contemplando partes dos municípios de Taguatinga, Aurora do Tocantins, Combinado, Lavandeira, Novo Alegre e Arraias (Figura 1). Somados, estes municípios apresentam 428 cavernas, o que corresponde a

45,58% das cavidades naturais do Tocantins (Quadro 1). As paisagens cársticas que hospedam estas cavernas constituem uma extensão setentrional do Distrito Espeleológico de São Domingos (KARMANN e SANCHÉZ, 1979; MORAIS, 2013).

Quadro 1: Quantidade de cavernas por município da área cárstica Aurora do Tocantins.

Município	Quantidade de Cavernas
Arraias	23
Aurora do Tocantins	111
Combinado	09
Lavandeira	68
Novo Alegre	06
Taguatinga	211

Fonte: Cecav (2021)

Com base em seus aspectos bióticos, meio físico e aspectos sócio-histórico-cultural, estas paisagens foram definidas como área prioritária para conservação do Patrimônio Espeleológico (CECAV, 2018).

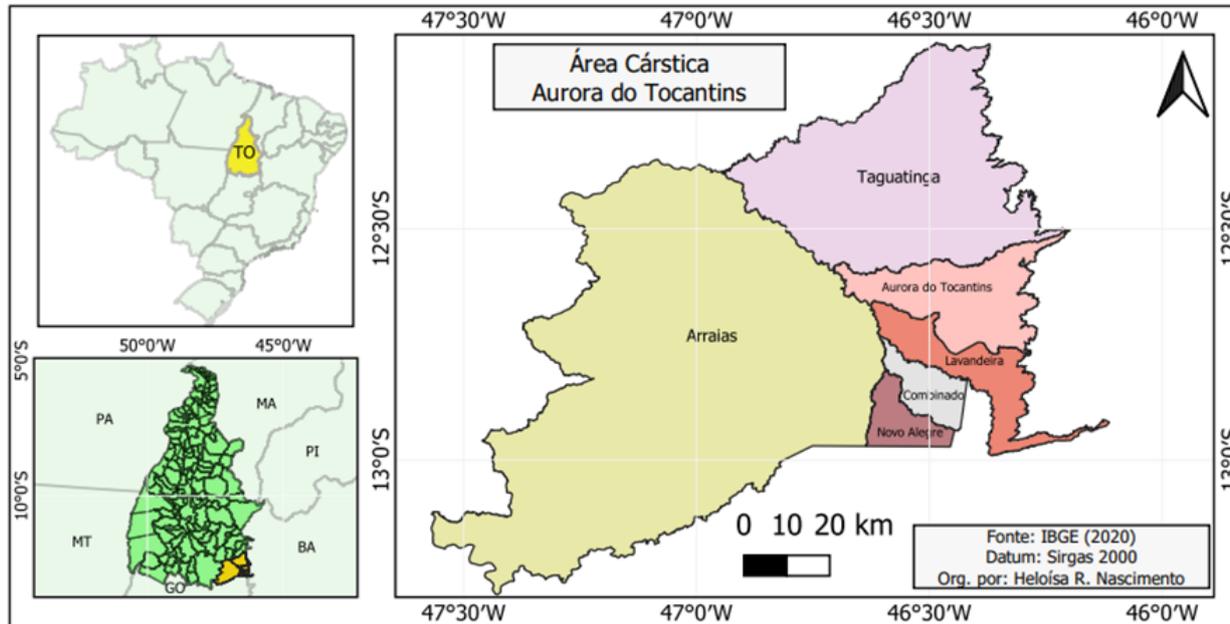


Figura 1: Mapa de localização da Área Cárstica Aurora do Tocantins.

A área que abrangem os municípios em estudo apresenta condições climáticas que influenciam o regime pluviométrico anual, provocando um longo período de ausência das chuvas (maio a setembro), que por consequência, tende a contribuir para a ocorrência de queimadas. Quanto à regionalização climática realizada pela

SEPLAN (2012), utilizando o método Thorntwhaite, a área é classificada como C2w2A'a', com uma concentração das chuvas nos meses de outubro a abril, e com evaporação potencial média de 1.600 mm. As precipitações médias anuais oscilam entre 1.300 e 1.500 mm, com temperatura média anual 25 °C (SEPLAN, 2012).

De acordo com Morais (2013), a área está geologicamente inserida nos domínios da Bacia Sedimentar Sanfranciscana, com as rochas do Grupo Bambuí predominando nos locais de ocorrência de cavidades naturais, ainda que possam ser observadas algumas feições nos arenitos do Grupo Urucuia. A geomorfologia da área é caracterizada pela ocorrência de carstes coberto, em exumação e descoberto, respectivamente, quando se traça um perfil da Serra Geral para o interior da bacia hidrográfica do Tocantins. Na área são observadas as mais variadas feições cársticas típicas deste tipo de relevo, como cavernas, dolinas, poljes, canyons entre outras.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho se deu em três etapas. A primeira constituiu-se de levantamento bibliográfico, a partir da leitura de artigos de periódicos científicos, livros, documentos em sites oficiais, todos relacionados aos principais assuntos abordados: queimadas, cavernas, impactos ambientais no carste, entre outros.

A segunda etapa consistiu na pesquisa em banco de dados oficiais para obtenção de dados cartográficos, como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na página do Programa Queimadas para obtenção de dados sobre focos de queimadas, tendo como referência o mês de setembro, para os anos de 2011, 2015 e 2020, em função deste ser um dos meses de destaque da ocorrência dos focos de queimadas no estado do Tocantins, de acordo com dados do Projeto Mapbiomas (2020).

No site do IBGE (2020) foram obtidos os arquivos referentes aos limites dos municípios de Arraias, Aurora do Tocantins, Combinado, Lavandeira, Novo Alegre e Taguatinga, todos localizados na região Sudeste do Tocantins, e que compõem a área cárstica denominada Aurora do Tocantins. Para a organização e processamento dos dados, foi utilizado o *software* livre Qgis 3.16 versão Hannover, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto.

Os dados sobre os focos de incêndio foram inseridos no *software* Qgis, sendo, em seguida, recortados de acordo com o plano de informação “limites municipais da área cárstica”. Após a devida reprojeção para o datum SIRGAS 2000, projeção UTM, zona 23 Sul, foi gerado Mapa de Calor (densidade Kernel) dos focos.

Numa terceira etapa, utilizou-se a base de dados espaciais de localização das cavernas, disponibilizados pelo CANIE, disponível no site do

CECAV, data de referência: 31/07/2021. As informações sobre as cicatrizes de queimadas para o Estado do Tocantins foram obtidas na Plataforma de Conhecimento do Cerrado, para os anos de 2011, 2015 e 2019, em formato *shapefile*, elaborado pelo LAPIG - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG, 2019).

A partir de sua aquisição, os dados foram inseridos no banco de dados do trabalho, realizando-se o recorte para a área de estudo, e assim foi possível elaborar o mapa de cicatrizes de queimadas para os anos de 2011, 2015 e 2019, na área cárstica Aurora do Tocantins. A sobreposição deste plano de informação com o de localização das cavernas possibilitou a visualização do padrão de distribuição espacial das cicatrizes e das cavernas.

Com a integração dos dados da localização das cicatrizes, foi criada uma camada *shape file*, em formato pontual, para informar a sua localização central, e assim, calcular a distância entre o ponto central destas até as cavernas, utilizando a ferramenta “distância para o ponto central mais próximo”, através da medida da distância linear. Esse mesmo procedimento foi realizado entre a localização dos focos de queimadas e das cavernas, com o objetivo de calcular a proximidade destes focos em relação às cavernas.

No portal do MapBiomas foram obtidos dados sobre a área queimada em cada município que compõe a área cárstica de Aurora do Tocantins, no período de 2010 a 2020, sendo possível verificar se houve aumento ou diminuição das áreas de queimadas na região, no decorrer do período analisado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados apresentados na figura 2, é possível visualizar que o município destaque na quantidade de área queimada por ano é Arraias. Para o período analisado, o valor mais expressivo em termos de área foi no ano de 2019, com 83.145 hectares de área queimada. Ao fazer uma comparação com os municípios de Taguatinga (ano 2012 – 7496 hectares) e Aurora do Tocantins (ano 2018 – 3.880 hectares), nota-se que estes possuem um menor quantitativo de área queimada, mesmo ocupando segunda e terceira posições, respectivamente. Observa-se que outros municípios também possuem áreas queimadas em todos os anos analisados, porém em quantidade menores.

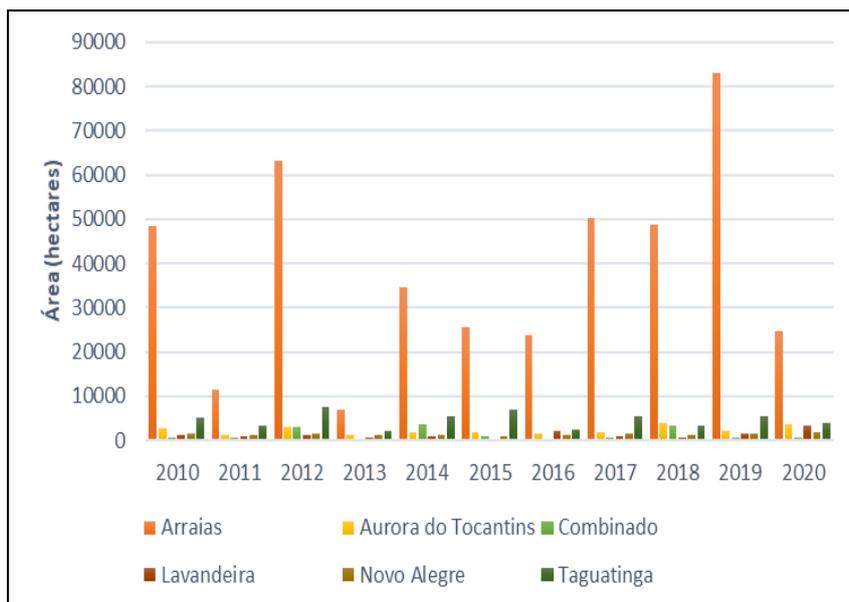


Figura 2: Área queimada por ano nos municípios localizados no carste Aurora do Tocantins, entre os anos de 2010 e 2020. Fonte: Projeto MapBiomias (2020).

Os mapas de cicatrizes de queimadas para os anos de 2011, 2015 e 2019 são apresentados na figura 3. A partir destes foi possível observar a distribuição das áreas de cicatrizes de queimadas ao longo da área cárstica Aurora do Tocantins, e sua proximidade com as cavernas.

Com uso da ferramenta de análise espacial do software Qgis 3.16, “distância para o ponto central mais próximo”, verificou-se a média das distâncias de cada cicatriz até a localização das cavernas, e a distância mínima e máxima entre elas, conforme pode ser visualizado na tabela 1.

Tabela 1: Dados sobre a medida da distância entre as cicatrizes de queimadas e as cavernas.

Ano	Média (m)	Mínima (m)	Máxima (m)
2011	7.438,96	830,19	30.927,43
2015	5.008,79	782,05	14.310,43
2019	8.067,41	451,61	22.299,011

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao fazer a sobreposição das cicatrizes de queimadas com as cavernas, foi possível verificar

que no ano de 2011, no município de Taguatinga, um total de 28 cavernas encontram-se nas áreas identificadas como cicatriz de queimada. Para o ano de 2015, essa quantidade de cavernas localizadas em áreas de cicatrizes de queimadas foi menor, sendo 1 caverna no município de Taguatinga, 3 cavernas no município de Aurora do Tocantins e 1 caverna no município de Arraias. Enquanto que as imagens do ano de 2019 mostraram um total de 53 cavernas situadas em áreas de cicatrizes de queimadas, sendo o município de Lavandeira o que apresentou menor sobreposição, com apenas 1 caverna tendo sua localização coincidindo com a cicatriz de queimada detectada por sensoriamento remoto.

A partir da comparação dos mapas de densidade Kernel dos focos de queimadas para os anos de 2011, 2015 e 2020 e dos mapas de cicatrizes de queimadas para os anos de 2011, 2015 e 2019, pode-se notar que no ano de 2020 as classes de densidade alta e muito alta de focos se aproximam mais da área com maior concentração de cavernas da região (Figura 4).

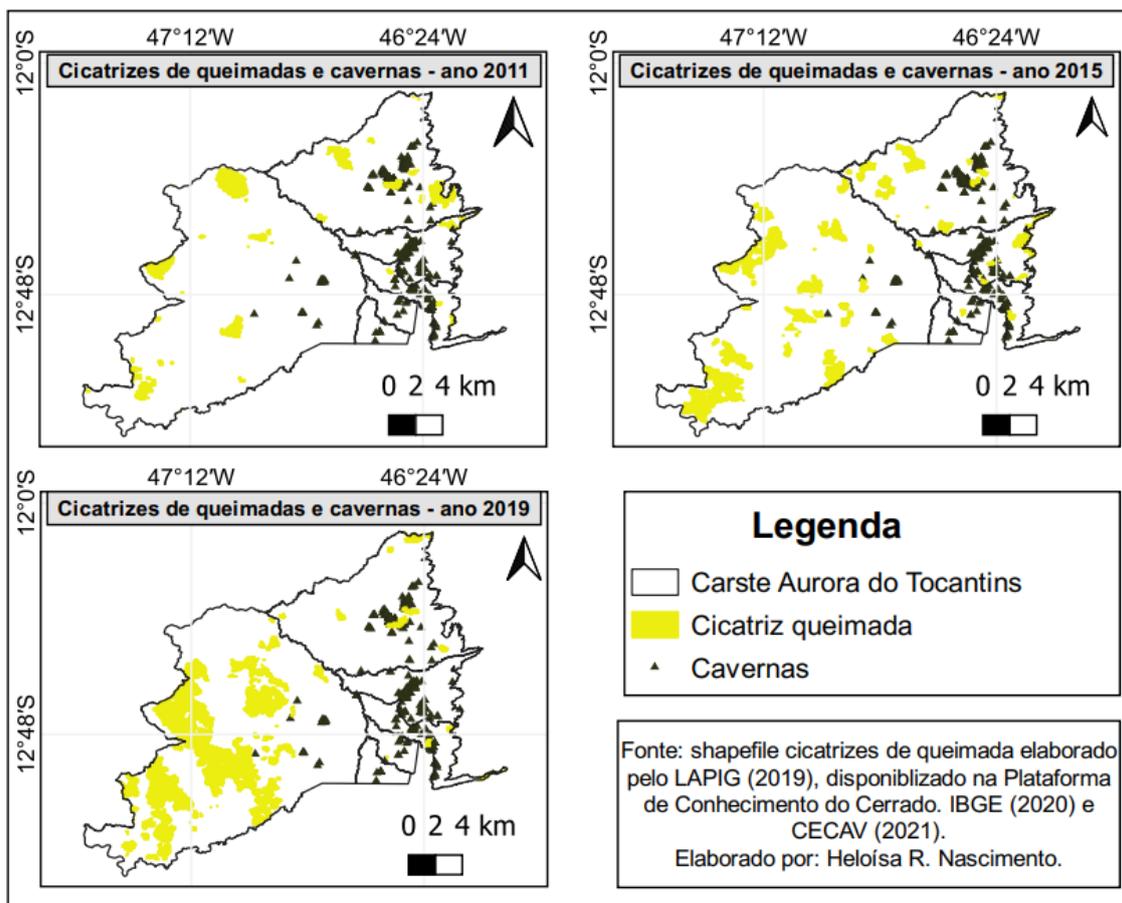


Figura 3: Mapa de cicatrizes de queimadas e sobreposição com as cavernas para os anos de 2011, 2015 e 2019. Fonte: Lapig (2019); Ibge (2020) e Cecav (2021).

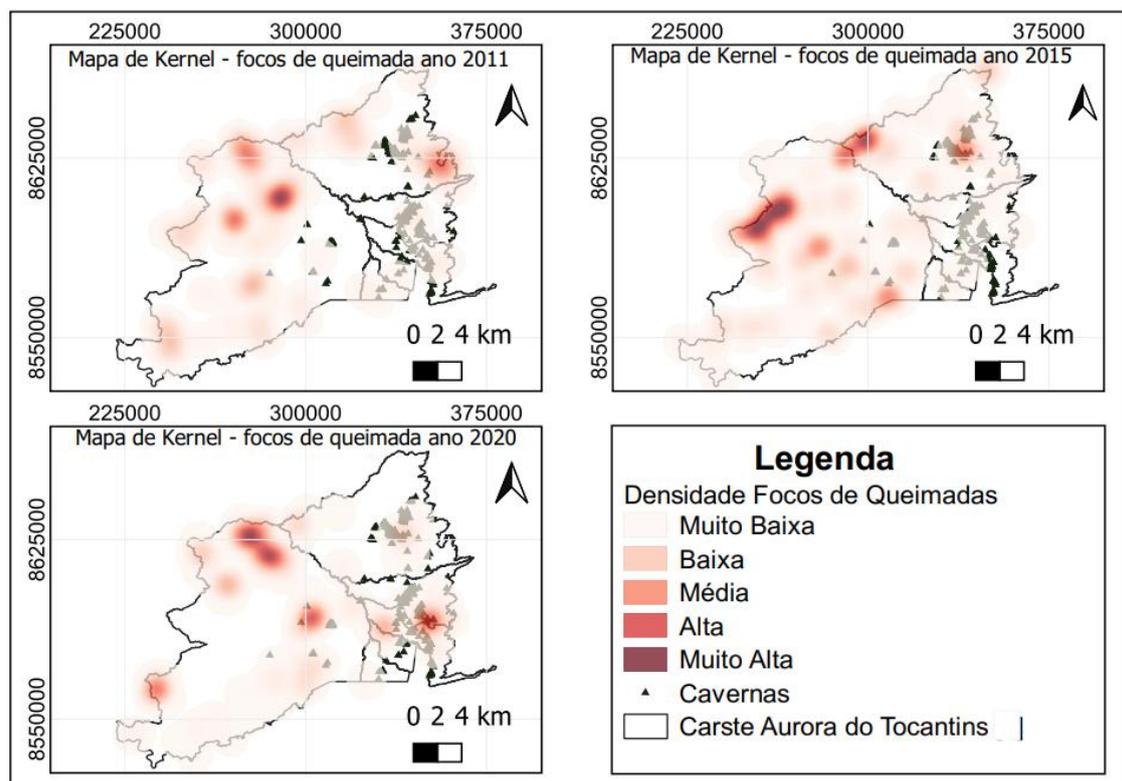


Figura 4: Mapa de Kernel dos focos de queimadas para os anos 2011, 2015 e 2020. Fonte: Inpe (2020).

Verifica-se que no aspecto temporal, a quantidade de focos de queimadas para o período analisado, sendo 2011, 2015 e 2020, aumentou, representando 619, 1.329 e 2.514 ocorrências de focos, respectivamente. Como pode-se observar na figura 5, as variáveis distância mediana, distância mínima e máxima entre os focos e as cavernas diminuíram para os anos avaliados, indicando a proximidade da ocorrência da prática de queimadas nas áreas onde estão localizadas as cavernas, e a necessidade de estudos mais aprofundados para avaliar os possíveis impactos sobre o carste.

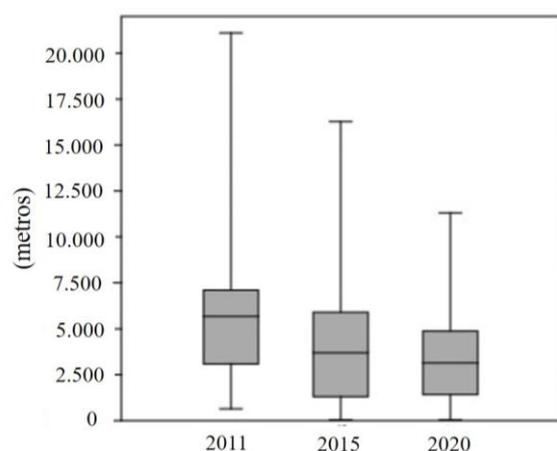


Figura 5: Distância entre os focos de queimadas e as cavernas. Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir dos dados apresentados e da literatura consultada, pode-se notar que as queimadas têm sido um fator de impacto para as cavernas em vários locais do planeta (ŠEBELA et al., 2017; BIAN et al., 2019). O mesmo se nota para o Sudeste do Tocantins, visto que vários focos e cicatrizes foram coincidentes com a localização das cavidades. A técnica de geração de mapas de densidade Kernel, como já havia ressaltado Riva et al. (2004), foi útil para observação dos padrões de distribuição dos focos de queimadas. Um passo além dado por Riva et al. (2004), e que poderá ser objeto de futuras pesquisas é separar as ocorrências de queimadas por causas naturais, como raios, daquelas decorrentes da ação humana.

Sobre a distribuição dos focos e cicatrizes de queimadas apresentarem maior concentração na porção oeste da área, onde teoricamente há menos cavidades, salienta-se que esta porção apresenta uma caverna com valor histórico-cultural e religioso (ROCHA e CARLOTO, 2011; MORAIS, 2011),

além de vários afloramentos rochosos carbonáticos do Grupo Bambuí, que ainda não foram submetidos ao escrutínio de explorações espeleológicas.

Por se tratar de uma região com graves problemas de disponibilidade hídrica, e que tem sido alvo de vários projetos governamentais para minimização da escassez hídrica, estudos mais detalhados sobre a relação das queimadas com a dinâmica dos aquíferos cársticos rasos são uma necessidade premente, uma vez que a geração de fluxos preferenciais, o aumento da evaporação e a diminuição do tempo de residência da água no sistema hidrológico vadoso são algumas das alterações provocadas pelo fogo sobre estes ambientes (BIAN et al., 2019).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o avanço da fronteira agrícola impulsionado pela valorização das commodities agrícolas e minerais nas duas primeiras décadas do século XXI, o bioma Cerrado vem sofrendo crescente devastação em sua diversidade. Uma destas formas de supressão vegetal são as queimadas. Quando as mesmas ocorrem sobre os sistemas cársticos, o impacto é ainda maior, pois atinge, além da fauna e flora, a dinâmica hídrica, que é o principal agente no desenvolvimento das paisagens cársticas.

A partir dos resultados alcançados neste estudo, pode-se considerar que as cavernas do Sudeste do Tocantins têm sido cada vez mais pressionadas pela ocorrência de eventos de queimadas em seu entorno. Cabe salientar que, por ter poucas feições detalhadamente topografadas, esta área não permite saber se o desenvolvimento das cavidades se dá nos terrenos sob as manchas (cicatrizes e focos) de queimadas ou não. Fato que poderia ajudar na compreensão mais pormenorizada dos impactos do fogo sobre os sistemas cársticos, como já se investiga em locais como Austrália, Eslovênia e Croácia.

Considera-se ainda que, independente da causa, se natural ou antrópica, e se o fogo faz parte da dinâmica ecológica do Cerrado, vale ressaltar que, para as cavernas, as queimadas são sempre um fator de impacto, devendo ser melhor estudado como isso tem se refletido nos sistemas cársticos do Sudeste do Tocantins, e no Brasil como um todo.

REFERÊNCIAS

- BIAN, F.; COLEBORN, K.; FLEMONS, I.; BAKER, A.; TREBLE, P. C.; HUGHES, C. E.; BAKER, A.; ANDERSEN, M. S.; TOZER, M. G.; DUAN, W.; FOGWILL, C. J.; FAIRCHILD, I. J. Hydrological and geochemical responses of fire in a shallow cave system. **Science of the Total Environment**, v. 662, p. 180-191, 2019.
- BRINKMANN, R.; PARISE, M. ed. Karst Environments: Problems, management, human impacts, and sustainability an introduction to the special issue. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 74, n. 2. 2012.
- CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Áreas Prioritárias para a Conservação do Patrimônio Espeleológico**. Brasília: ICMBio – MMA, 2018.
- CECAV, Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. Anuário Estatístico do Patrimônio Espeleológico Brasileiro 2020. 2021. Disponível em:<
<https://www.icmbio.gov.br/cecav/destaques/90-anuario-estatistico-do-patrimonio-espeleologico-brasileiro-2018.html>>. Acesso em: 26 de nov. de 2021.
- COLEBORN, K.; BAKER, A.; TREBLE, P. C.; ANDERSEN, M. S.; BAKER, A.; TADROS, C. V.; TOZER, M. G.; FAIRCHILD, I. J.; SPATE, A.; MEEHAN, S. The impact of fire on the geochemistry of speleothem-forming dripwater in a sub-alpine cave. **Science of the Total Environment**, v. 642, p. 408-420, 2018.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Geomorphology and Hydrology**. London: Unwin Hyman, 1989. 601p.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. London: John Wiley & Sons Ltd., 2007. 562p.
- FORD, D.C., ed. Environmental Change in Karst Areas. **Environmental Geology**, v. 21, no. 3. 1993.
- GILLI, E. **Karstology: Karsts, Caves and Springs: Elements of Fundamental and Applied Karstology**. New York: CRC Press, 2015. 244p.
- GILLIESON, D. **Caves: processes, development, management**. Oxford: Clackwell Publishers, 1996, 340p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha municipal.2020. Disponível em:<
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 26 de nov. 2021.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Focos de Queimadas para os anos de 2011, 2015 e 2020. 2020. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>. Acesso em: 29 de nov. 2021.
- KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L.E. Distribuição das rochas carbonáticas e Províncias espeleológicas do Brasil. **Espeleo-Tema**, São Paulo, 13: p.105-167, 1979.
- LAPIG, Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. Arquivos em formato shapefile da área de queimadas para os anos de 2011, 2015 e 2019. 2019. Disponível em:<
<https://cepf.lapig.iesa.ufg.br/#/usodosolo>>. Acesso em: 29 de nov. 2021.
- MORAIS, F. Caracterização Geomorfológica da Região de Aurora do Tocantins, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 14, n. 2, p.163-170, 2013.
- _____. Panorama da Espeleologia no Estado do Tocantins. In: MORAIS, F. (org.). **Contribuição à Geografia Física do Tocantins**. Goiânia: Kelps, 2011. p. 87-111.

- PARISE, M.; DE WAELE, J.; GUTIERREZ, F. eds. Current perspectives on the environmental impacts and hazards in karst. **Environmental Geology**, v. 58, n. 2. 2009.
- PIVELLO, V. R.; VIEIRA, I.; CHRISTIANINI, A. V.; RIBEIRO, D. B.; MENEZESE, L. S.; BERLINCK, C. N.; MELO, F. P. L.; MARENGO, J. A.; TORNQUISTI, C. G.; TOMAS, W. M.; OVERBECK, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 233-255, 2021.
- PROJETO MAPBIOMAS. Mapeamento de cicatrizes de fogo no Brasil, Coleção 1. 2020. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 29 de nov. 2021.
- RIVA, J.; PÉREZ-CABELLO, F.; LANA-RENAULT, N.; KOUTSIA, N. Mapping wildfire occurrence at regional scale. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, p. 363-369, 2004.
- ROCHA, S.; CARLOTO, D. R. A Caverna Lapa do Bom Jesus em Arraias – Tocantins e as representações da comunidade quilombola Lagoa da Pedra. In: RASTEIRO, M.A.; MOSS, D. F.; PONTES, H. S. (org.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31., 2011. Ponta Grossa – PR. **Anais [...]**, Campinas – SP: SBE – Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2011. p. 269-276. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_269-276.pdf. Acesso em: 11 mar. 2019.
- ŠABELA, S.; ZUPANČIČ, N.; MILER, M.; GRČMAN, H.; JARC, S. Evidence of Holocene surface and near-surface palaeofires in karst caves and soils. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 485, p. 224-235, 2017.
- SEPLAN – Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins:** subsídios ao planejamento da gestão territorial. 6 ed. rev. e atual. Palmas: DZE – Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico, 2012.
- URICH, P. B. **Land use in Karst terrain: review of impacts of primary activities on temperate karst ecosystems**. Wellington – New Zealand: Science for Conservation, 2002.
- WILLIAMS, P.W., ed. Karst Terrains, Environmental Changes and Human Impact: Cremlingen-Destedt, Germany, **Catena Supplement** n. 25, 268 p. 1993.