



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Geoprocessamento aplicado ao mapeamento de risco a incêndios

Víncler Fernandes Ribeiro Oliveira¹, Edson Rodrigo dos Santos da Silva¹, Bruno Henrique Machado da Silva²,
Erivelton Pereira Vick¹, César Gustavo da Rocha Lima³, Vitor Matheus Bacani⁴

¹Doutorando em Geografia, Campus de Três Lagoas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil, Av. Ranulpho Marques Leal, 3484, CEP 79610-100, Três Lagoas, Mato Grosso do Sul. vinclerfernandes@hotmail.com, edson_r_silva@yahoo.com, e.vick@hotmail.com. ²Graduando em Geografia, Campus de Três Lagoas, Curso de Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil, Av. Ranulpho Marques Leal, 3484, CEP 79610-100, Três Lagoas, Mato Grosso do Sul. brunomachado.geo@gmail.com. ³Professor Assistente Doutor, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Brasil, Alameda Bahia, 550, CEP 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo. cesar.lima@unesp.br. ⁴Professor Associado Doutor, Campus de Três Lagoas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil, Av. Ranulpho Marques Leal, 3484, CEP 79610-100, Três Lagoas, Mato Grosso do Sul. vitor.bacani@ufms.br.

Artigo submetido em 14/11/2019 e aceito em 16/04/2020

RESUMO

Os incêndios florestais são uma real ameaça a manutenção da biodiversidade dos ambientes naturais e antrópicos, impondo severos prejuízos financeiros, sociais e mesmo humanos às áreas atingidas, portanto a identificação das áreas de maior probabilidade de ocorrência torna-se questão chave para o planejamento e gestão ambiental. O objetivo deste trabalho foi identificar as áreas que apresentam risco a incêndios no município de Coxim-MS. Os procedimentos metodológicos constituíram-se na combinação ponderada das variáveis processadas por meio da lógica Fuzzy: declividade, orientação das vertentes, precipitação, rodovias, área urbana, rede hidrográfica, uso e cobertura da terra e *hotspot*. Os resultados apresentaram concentração do alto risco de incêndio na região central e em uma pequena parte no oeste, influenciadas principalmente por *hotspots*, baixa pluviosidade, distância acentuada da rede de drenagem e ao uso e cobertura da terra. Identificou-se também um predomínio do médio risco, o qual ocupou 86,73% da área total do município, enquanto o baixo risco ocupou 10,17% do total. Os resultados observados podem contribuir na prevenção e no combate aos incêndios, oportunizando subsídios para o delineamento de estratégias e políticas públicas voltadas para o planejamento e ordenamento do território.

Palavras-chave: geotecnologias, focos de calor, Cerrado, Pantanal, Mato Grosso do Sul.

Geoprocessing applied to fire risk mapping

ABSTRACT

Forest fires are a real threat to maintaining the biodiversity of natural and anthropogenic environments, imposing severe financial, social and even human damage to the affected areas, so identifying the areas most likely to occur becomes a key issue for planning and management environmental. The objective of this study was to identify the areas that present a fire risk in Coxim-MS. The methodological procedures consisted of the weighted combination of the fuzzified variables: slope, aspect, rainfall, highways, urban area, hydrographic network, land use and land cover and hotspot. The results showed concentration of the high fire risk in the central region and in a small part in the west, mainly influenced by hotspots, low rainfall, sharp drainage distance and land use and land cover. It was also identified a predominance of medium risk, which occupied 86.73% of the total area of the municipality, while low risk occupied 10.17% of the total. The observed results can contribute to the prevention and fight against fires, providing subsidies for the design of strategies and public policies for the planning and planning of the territory.

Key Word: geotechnologies, heat sources, Cerrado, Pantanal wetland, Mato Grosso do Sul.

Introdução

Na história humana, o fogo constitui uma das mais antigas e ferramentas de manejo do solo para as atividades agropastoris. Coutinho (1980), apoiado nos pressupostos de Kunholtz-Lordat (1938), aponta que desde o domínio do fogo pelos

Sinanthropus pekinensis, ao longo do médio Pleistoceno, os incêndios distinguiram-se em três grandes grupos: pré-culturais, de origem remota e mesmo pré-histórica; culturais, utilizados para a limpeza de plantações; e pastoris, servindo como

elemento de manutenção de pastagens (Assunção et al., 2017; Ferreira et al., 2020).

De fato, como apontado por Soares (1985), quando bem conduzido, o fogo gera significativos benefícios para as atividades humanas e ao ambiente, constituindo mesmo, parte componente de sistemas ambientais, como o Cerrado brasileiro, conforme identificado por Nascimento (2006) há espécies que estão fisiológica e morfológicamente adaptadas para encarar eventos de fogo natural.

Entretanto, o manejo do fogo sem planejamento, e mesmo sua ocorrência natural ou criminosa sem controle, torna-o um grande risco para a manutenção da biodiversidade natural e para as atividades antrópicas, impondo severos prejuízos financeiros, sociais, ambientais e mesmo em vidas humanas; sobretudo quando as áreas atingidas localizam-se em regiões de vegetação savânica e campestre (Miranda et al., 1996; Gonçalves et al., 2011; Franca-Rocha et al., 2017; Leite et al., 2017). Neste contexto, podem-se destacar como principais impactos dos incêndios florestais sem controle, a degradação e empobrecimentos dos solos (Rouw, 1994), a diminuição da qualidade da atmosfera local (Silva et al., 2003) e mesmo global (Barbosa e Fearnside, 1999), a redução da biodiversidade (Soares, 1992), a perda de qualidade da água (Meneses, 2013), entre outros.

Conforme Rebelo (1996), em nível global, todas as grandes regiões partilham de ocorrências

de incêndios florestais, tais como: a zona intertropical, no qual destacam-se incêndios na Austrália (Dowdy et al., 2017), na Espanha (Molina e Galiana-Martín, 2016), Grécia (Gouveia et al., 2016), Amazônia (Van Marle et al., 2017) e na África (Zubkova et al., 2019); o domínio do mediterrâneo, em que se destacam países como Portugal (Turco et al., 2019), entre outros; e mesmo em zonas fria e temperadas, como nos estados norte-americanos da Califórnia (Steel et al., 2015) e do Alaska (Gibson et al., 2016), na Sibéria russa (Kukavskaya et al., 2016) e no Quebec canadense (Payette, et al., 2017).

No Brasil, entre 2003 e 2019 os incêndios florestais consumiram uma área somada de aproximadamente 5.722.721 km² (Inpe, 2020), castigando sobretudo o Cerrado, com área queimada somada de 2.919.618 km², a Amazônia (1.497.936 km²), a Caatinga (736.813 km²), a Mata Atlântica (340.626 km²), o Pantanal (204.275 km²) e o Pampa (23.453 km²). Destes, a área queimada somada entre 2003 a 2019 é maior do que a área total do próprio bioma no caso do Cerrado (diferença de 883.170 km²) e do Pantanal (diferença de 53.920 km²), indicando a ampla vulnerabilidade de tais biomas aos incêndios florestais. Uma visão geral da área queimada total no Brasil e nos seus respectivos biomas entre 2003 a 2019 (Inpe, 2020) pode ser visualizada na Figura 1.

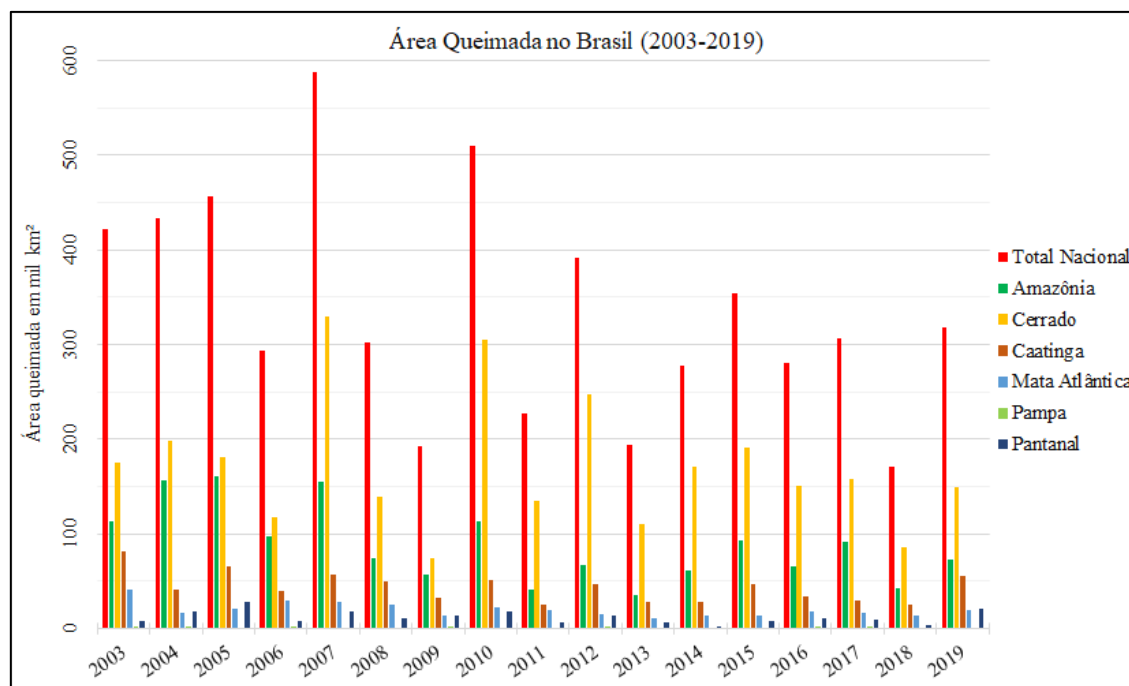


Figura 1. Áreas queimadas nos biomas brasileiro.

Assim, tendo em vista os severos impactos dos incêndios florestais e a sua constante

desenvolvimento de meios de prevenção apresentam relevância ímpar, oportunizando instrumentos capazes de otimizar esforços em sua

ocorrência no Brasil e no mundo, o

contenção e na mitigação de seus efeitos negativos. Tais meios ganham maior importância no âmbito de uma perspectiva baseada em uma visão sistemática do ciclo do fogo, invertendo a atuação das autoridades públicas em relação aos incêndios: de uma atuação meramente de remediação, alicerçada no combate aos incêndios florestais, para uma ação preventiva, endereçada à identificação de áreas mais susceptíveis, ao controle dos materiais combustíveis e ao próprio manejo do fogo como mecanismo de controle de grandes incêndios.

Tendo em vista estas considerações, a identificação de áreas sujeitas a incêndios florestais permite o desenvolvimento de ações preventivas para o controle da ocorrência, da intensidade e da magnitude dos incêndios (Vettorazzi e Ferraz, 1998), seja por meio da contenção dos materiais combustíveis (ponto de vista preventivo), ou da instalação de infraestruturas de apoio ao combate e à propagação do mesmo (ponto de vista remediativo). Neste sentido, propostas metodológicas baseadas na interação das mais diversas variáveis que contribuem para o desenvolvimento de incêndios florestais oportunizam subsídios para o planejamento ambiental, permitindo um melhor gerenciamento do território e uma melhor utilização dos recursos públicos.

No âmbito desta acepção, diversos trabalhos contidos na literatura têm utilizado técnicas de geoprocessamento para a detecção de áreas susceptíveis a incêndios florestais. A este respeito, Bacani (2016) analisa o risco a incêndio florestais no município de Bodoquena-MS, tendo em vista a combinação do uso e cobertura da terra, exposição das vertentes à luz solar, declividade, precipitação, distância de centros urbanos e assentamentos rurais, estradas, rede de drenagem e *hotspots*. Ibarra-Montoya e Huerta-Martínez (2016) desenvolveram um modelo para determinar possíveis áreas de risco a incêndios, utilizando variáveis meteorológicas, morfológicas, disponibilidade de combustível e ação antrópica.

Lopes et al. (2018) também propuseram um zoneamento de risco de incêndio e queimadas para o município de Sorocaba – SP, analisando as características físicas, antrópicas e dados de focos de fogo, desenvolvendo uma alternativa para o monitoramento de ambiental.

No caso do Parque Nacional de São Joaquim-SC, Omena et al. (2016) propuseram um zoneamento de risco a incêndios florestais, baseando-se em metodologia proposta originalmente por Oliveira (2002), no qual se destacou a combinação da declividade do terreno, da orientação das vertentes, dos ventos

predominantes, da cobertura vegetal, dos materiais combustíveis e da presença humana.

Torres et al. (2017), tendo em vista os limites do município de Viçosa – MG, compararam quatro modelos de mapeamento de risco a incêndios florestais, atribuindo pesos diferenciados a cada combinação de variáveis, concluindo que ambos modelos apresentaram resultados satisfatórios para aquela localidade.

Por outro lado, Oliveira et al. (2017) desenvolveram mapas que podem apoiar medidas de prevenção e controle de incêndios por meio de comparação de métodos preditivos. Os resultados apontaram que o alto grau a vulnerabilidade a incêndios está relacionado a fatores como: alta declividade, presença de vegetação, concentração de pessoas, rede viária e hidrográfica e aglomerados subnormais.

Neste contexto, Paz et al. (2011) salientam que o mapeamento de risco a incêndios florestais originado por meio de técnicas de geoprocessamento permite aos planejadores desenvolver estratégias para a prevenção, mitigação e remediação dos possíveis efeitos negativos dos mesmos, oportunizando uma ferramenta ímpar para o planejamento territorial ambiental, sobretudo para grandes áreas, de difícil acesso e de valor ambiental e social inestimável, como os biomas Amazônico, Cerrado e o Pantanal, em *sui generis* os dois últimos.

Neste contexto, o Cerrado constitui o bioma com maior extensão na América do sul, ocupando aproximadamente 22% do território brasileiro, distribuindo-se por 12 unidades da federação (Bahia, Distrito Federal, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, Rondônia, São Paulo e Tocantins) e incidência em outros 3 (Amapá, Amazonas e Roraima) (Ratter et al., 1997; Estrabis et al., 2019; Mma, 2020; Ibge, 2020). Já o Pantanal representa o menor dos biomas brasileiros, representando apenas 1,7% do território nacional. Entretanto, apesar de sua pequena extensão territorial o Pantanal possui relevância ímpar do ponto de vista social, econômico e ambiental (Silva, 2020), constituindo uma das maiores áreas úmidas contínuas do planeta (Por, 1995).

É neste cenário de interface entre o Cerrado e o Pantanal em que se localiza o município de Coxim, MS, principal município da região geográfica imediata homônima (Ibge 2017), territorializado de maneira estratégica às margens da BR-163, a principal rodovia que corta o Estado de Mato Grosso do Sul. Contudo, a despeito da elevada diversidade ambiental registrada no Cerrado e no Pantanal, e sua alta vulnerabilidade natural a incêndios florestais, como apontado por

Miranda et al. (2009) e Matos (2014), respectivamente, Coxim, bem como boa parte dos municípios sul-mato-grossenses, não dispõe de registros cartográficos em escala local para lidar com incêndios florestais, assim como não possui um protocolo de atuação que permita a identificação das áreas mais susceptíveis a incêndios florestais, o que oportunizaria a prevenção de incêndios e/ou a mitigação de seus impactos negativos.

Neste contexto, o presente trabalho tem como hipótese o papel primordial das técnicas de geoprocessamento para o monitoramento e o planejamento ambiental, permitindo, por meio de análise sistêmica das características físicas e antrópicas do ambiente, o mapeamento de áreas mais susceptíveis a incêndios florestais, resultando em conhecimentos, cartográficos inclusive, absolutamente relevantes para o gerenciamento do território.

Assim, por conseguinte, o objetivo deste trabalho é mapear, por meio de técnicas de geoprocessamento, o risco a incêndios florestais no município de Coxim, região Norte do Estado de Mato Grosso do Sul: uma área de interação entre os biomas Cerrado e Pantanal, marcada por sucessivos processos de transformação de suas paisagens decorrente de intensa ação antrópica.

Materiais e Métodos

Área de estudo

O município de Coxim está localizado ao norte do estado de Mato Grosso do Sul, em área de aproximadamente 6.413 km², dos quais aproximadamente 3.663 km² são classificados como áreas prioritárias à conservação (Brasil, 2016). Parte integrante da região imediata homônima (Ibge, 2017), o município de Coxim possui aproximadamente 33.543 habitantes (Ibge, 2019), concentrados principalmente em sua área urbana localizada entre as coordenadas 18°28'48"S, 54°45'14"O e 18°33'12"S, 54°44'47"O (Figura 2).

Topograficamente, Coxim registra altitudes que variam entre os 145 a 528 m, perpassando formas de relevo de dissecação homogênea de topo convexo e topo tabular e aplanamento pediplanado retocado desnudado, inumado e degradado inumado, bem como formas de acumulação, localizadas no interior da bacia sedimentar do Pantanal, em altitudes não superiores a 155 metros (Ibge, 2018). Em termos de solos, nas áreas mais altas do município, predominam Neossolos, Latossolos e Argissolos, assim como uma pequena área ocupada por Gleissolos, enquanto nas áreas baixas, na bacia pantaneira, predominam Planossolos, Plintossolos e Neossolos, com a interface escarpada entre ambos marcados por amplos afloramentos de rochas areníticas (Ibge, 2018).

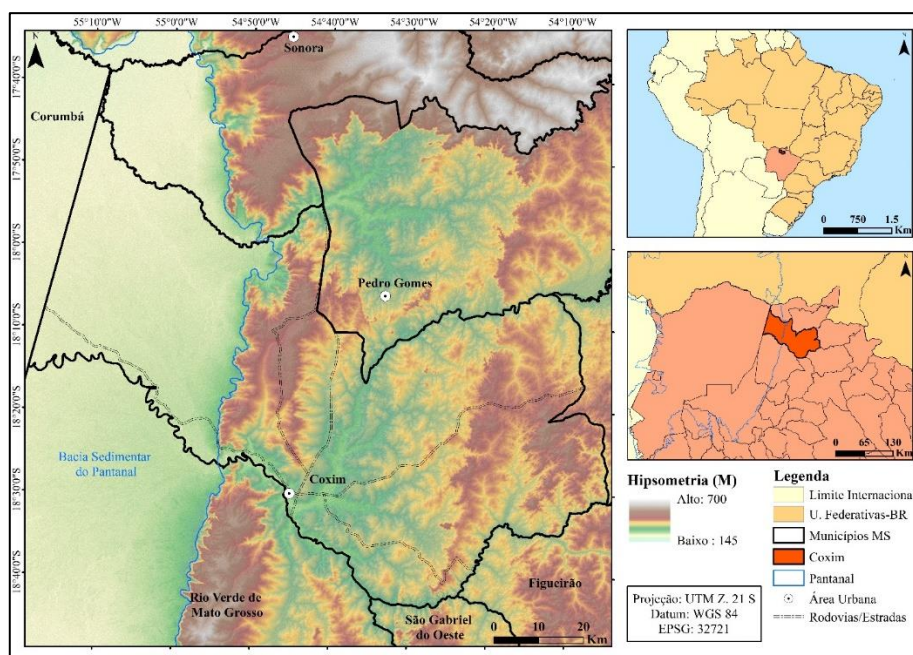


Figura 2. Localização da área de estudo.

Procedimentos metodológicos

O presente trabalho baseia-se na adaptação da metodologia de análise de risco a incêndios proposta originalmente por Bacani (2016), no qual

foram definidos pesos a cinco classes de uso e cobertura da terra (que podem ser visualizadas em destaque no Quadro 1) não identificadas em trabalhos anteriores. A opção pelos anos de 1998 a

2007 decorre da disponibilidade de dados de focos de calor (de 1998 a 2007); de precipitação, proveniente das Isoietas de Precipitações Médias Anuais do Brasil, referentes a dados de 1977 a 2006; e dados de uso e cobertura da terra provenientes do projeto GEOMS (Silva et al., 2011) disponível para o ano de 2007.

Esta metodologia enquadra-se no contexto de análise de áreas mais susceptíveis a incêndios florestais, tendo como variáveis básicas para a sua aplicação: declividade (D), orientação das vertentes (O), precipitação (P), hidrografia (H), áreas urbanas (A), proximidade com as rodovias (P), uso e cobertura da terra (U) e *hotspots* (H).

Após o seu processamento, todas estas variáveis foram reclassificadas utilizando a função linear *fuzzy*, aplicada por meio do SIG ArcGis 10.6® (Esri, 2018). A lógica *fuzzy* foi aplicada partindo do princípio de que esta varia entre 0 e 1, permitindo uma melhor segmentação dos seus valores, aproximando-se assim do produto real, evitando uma generalização dos índices de cada variável, conforme identificado por meio da aplicação da lógica booleana.

A seguir, é apresentada a maneira com a qual as variáveis agregadas exercem influência sobre o risco de incêndio e como tais informações foram geradas para o presente trabalho:

Declividade (D): altos valores de declividade estão associados ao aumento do risco a incêndios, de modo que quanto maior os aclives, maior a disseminação dos incêndios (Pezzopane et al., 2001), constituindo assim uma variável de propagação. Este mapa foi elaborado a partir de cena orbital do satélite *ALOS (Advanced Land Observing Satellite)*, sensor *PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar)*, processada por meio da ferramenta *slope* e reclassificada, de acordo com Jaiswal et al. (2002), em seis classes, em intervalos de 0-3%, 3-5%, 5-10%, 10-15%, 15-35% e >35%. Após a reclassificação, foi aplicada a função linear *fuzzy* (Figura 3-A), através da ferramenta *Fuzzy Membership*.

Orientação das vertentes (O): esta variável é importante por estar associada à redução da umidade de materiais combustíveis que estão sobre

incidência direta da energia solar, entendendo que quanto maior for o tempo de exposição solar, maior é o risco ao incêndio (Pezzopane et al., 2001; Bacani, 2016), representando assim, um importante elemento de propagação do fogo. Para a elaboração do mapa de orientação das vertentes, realizado por meio da ferramenta *Aspect*, utilizou-se a cena orbital do satélite *ALOS-PALSAR*, classificada conforme Cunha e Bacani (2015) em valores que variaram de 1 a 4, de acordo com a seguinte ordem: Norte (315-45), Leste (45-135), Sul (135-225) e Oeste (225-315). Após este processo, a orientação das vertentes foi reclassificada aplicando-se a função linear *fuzzy* (Figura 3-B).

Precipitação (P): a precipitação constitui variável importante para a compreensão da umidade natural disponível nos períodos de maior estresse hídrico, indicando assim sua proeminência como variável de propagação. Para sua análise, os dados de chuvas foram extraídos do mapa de Isoietas de precipitações médias anuais do Brasil (Cprm, 2019), utilizando-se apenas as médias mensais de maio, junho, julho, agosto e setembro, os cinco meses com maior estresse hídrico na região (Soares Neto et al., 2016). Assim, foi aplicado um método de interpolação dos valores médios destes meses por meio da Ponderação do Inverso da Distância (ferramenta *Idw*), posteriormente recortado conforme os limites do município de Coxim (ferramenta *Clip*). Após os citados processos, foi aplicada a função linear *fuzzy*, na qual as regiões com menor precipitação apresentaram maior probabilidade de riscos a incêndios (Figura 3-C).

Hidrografia (H): a importância da hidrografia se assenta no fato de que a rede de drenagem é um fator preponderante para a não propagação de incêndios, servindo assim, de barreira natural para contenção do fogo (Forman e Collinge, 1997). Os dados da drenagem foram extraídos do projeto GEOMS (Silva et al., 2011), em escala de 1:100.000. Aplicou-se a distância euclidiana (ferramenta *Euclidean Distance*) à rede de drenagem, seguida pela função linear *fuzzy*, na qual se entendeu que quanto maior a proximidade da rede de drenagem, menor é o risco a incêndios (Figura 3-D).

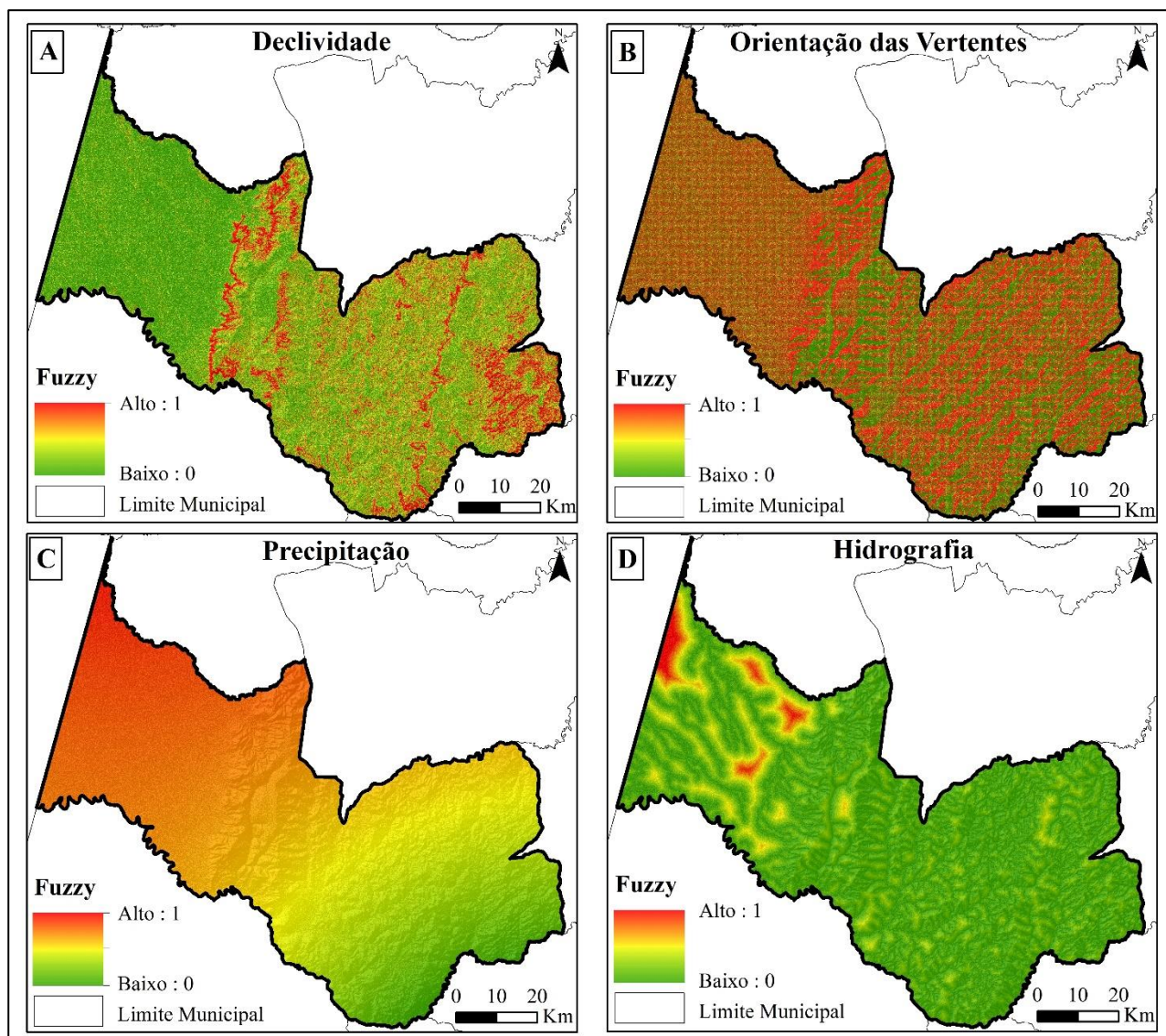


Figura 3. Mapas das variáveis processadas em lógica Fuzzy para o município de Coxim-MS, nomeadamente: declividade (A), orientação das vertentes (B), precipitação (C) e hidrografia (D).

Área Urbana (A): as áreas urbanas apresentam maior probabilidade de desenvolverem focos de incêndios, pois apresentam expressividade de áreas construídas, que podem ocasionar o uso indevido do fogo, ameaçando os fragmentos vegetais localizados próximos a ela, configurando-a como importante elemento de ignição do fogo. Assim, utilizando-se de imagens de alta resolução do ano de 2016, disponíveis no catálogo *Imagery*, do SIG ArcGis 10.6® (Esri, 2018), vetorizou-se a malha urbana de Coxim, sendo posteriormente aplicada a esta a distância euclidiana e em seguida a função linear *fuzzy*, na qual foi estabelecida a seguinte relação: quanto maior a proximidade à área urbana, maior é o risco a incêndios (Figura 4-A).

Proximidade com Rodovias (P): áreas próximas a rodovias possuem alto risco (Ferraz e Vettorazzi, 1998; Silva et al., 2003) pois estão sujeitas aos incêndios ocasionados pelo fluxo de pessoas e

veículos, o que permite classificá-la como um dos principais elementos para a ignição de incêndios florestais. Dessa forma, o mapa foi gerado a partir da vetorização manual das principais rodovias e estradas que cortam o município, à semelhança do processo aplicado à vetorização da área urbana, aplicando-se posteriormente a distância euclidiana, seguida pela função linear *fuzzy*, sendo a relação estabelecida: quanto mais próximo às rodovias, maior o risco a incêndios (Figura 4-B).

Uso e cobertura da terra (U): os dados de uso e cobertura da terra foram extraídos do projeto GEOMS (Silva et al., 2011). Conforme trabalhos contidos na literatura, pôde-se classificar as várias classes de uso e cobertura da terra conforme suas características de vulnerabilidade à ignição e propagação de incêndios florestais (Ferraz e Vettorazzi, 1998; Pezzopane et al., 2001; Mistry e Berardi, 2005; Bacani, 2016). Assim, os pesos para a

reclassificação do risco a incêndios das classes de uso e cobertura da terra seguiram o proposto por Bacani (2016) e Setzer e Sismanoglu (2017), incluindo-se também outras classes não relatadas nos citados

trabalhos (destacadas na Tabela 1). Após reclassificação dos pesos adotados às classes de uso e cobertura da terra, aplicou-se a função linear *fuzzy* (Figura 4-C).

Tabela 1 – Classificação dos pesos das classes de uso e cobertura da terra em relação ao risco de incêndio.

Uso e cobertura da terra	Peso	Risco (<i>Fuzzy</i>)	Área (km ²)	Área (%)
Água	0	Nulo	48.41	0.75
Fa -Vegetação ripária: aluvial, herbácea, arbustiva, alongo do rio.	1	Muito Baixo	707.95	11.04
R - Florestamento/Reflorestamento (Eucalipto, pinus)*	2	Baixo	17.28	0.27
SNC/(Sd+Fs) - encrave, floresta estacional semi-decidual submontana*	3	Médio	144.02	2.25
Sa + Sd - Savana (Cerrado), arborizada + florestada	3	Médio	165.70	2.58
Sa + Sg - Savana (Cerrado), arborizada + gramíneo lenhosa	3	Médio	133.44	2.08
Saf - Savana (Cerrado), com floresta de galeria	3	Médio	441.71	6.89
Sas - Savana (Cerrado), sem floresta de galeria	3	Médio	718.13	11.20
Sd - Savana (Cerrado), florestada (cerradão)	3	Médio	120.61	1.88
Sd + Sa - Savana (Cerrado), florestada + arborizada	3	Médio	78.28	1.22
Sg + Sa - Savana (Cerrado), gramíneo lenhosa + arborizada	3	Médio	15.36	0.24
Sps - Savana (Cerrado) Parque sem floresta de galeria*	3	Médio	92.05	1.44
Vs.S - Vegetação secundária de Savana	3	Médio	20.86	0.33
Sgf - Savana (Cerrado), gramíneo lenhosa com floresta de galeria*	4	Alto	4.39	0.07
Sgs - Savana (Cerrado), gramíneo lenhosa sem floresta de galeria	4	Alto	5.68	0.09
Ac.s - Agricultura na região de Savana*	5	Muito Alto	103.86	1.62
Ap.s - Pastagem plantada na região de savana	5	Muito Alto	3579.46	55.81
Lu - Influência Urbana	5	Muito Alto	16.48	0.26
TOTAL	-		6413.67	100.00

Fonte: adaptado de Bacani (2016) e Setzer e Sismanoglu (2017). *Classes de uso e cobertura da terra não classificadas anteriormente.

Hotspots (H): *hotspots* são usados para representar as assinaturas de calor capturadas pelos sensores termais dos satélites recebidos e processados pelo

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe, 2019). Esses focos de calor não expressam necessariamente áreas queimadas, mas sim, áreas

com temperaturas superiores a 47° C (Antunes, 2000; Santos, 2017), o que indica certa propensão a serem incêndios (Bacani, 2016). Foram utilizados dados de *hotspots* do ano de 1998 a 2007, sendo submetidos ao método estatístico de Kernel (Parzen, 1962), por meio da ferramenta *Kernel Density*, fazendo uma distribuição dos pontos de

concentração dos focos de calor na área do município, no qual as maiores concentrações indicam maior probabilidade de focos de incêndio. Em seguida, a este modelo de Kernel foi aplicada a função linear *fuzzy*, partindo da relação: quanto maior a distância dos focos de calor, menor é a probabilidade de incêndios (Figura 4-D).

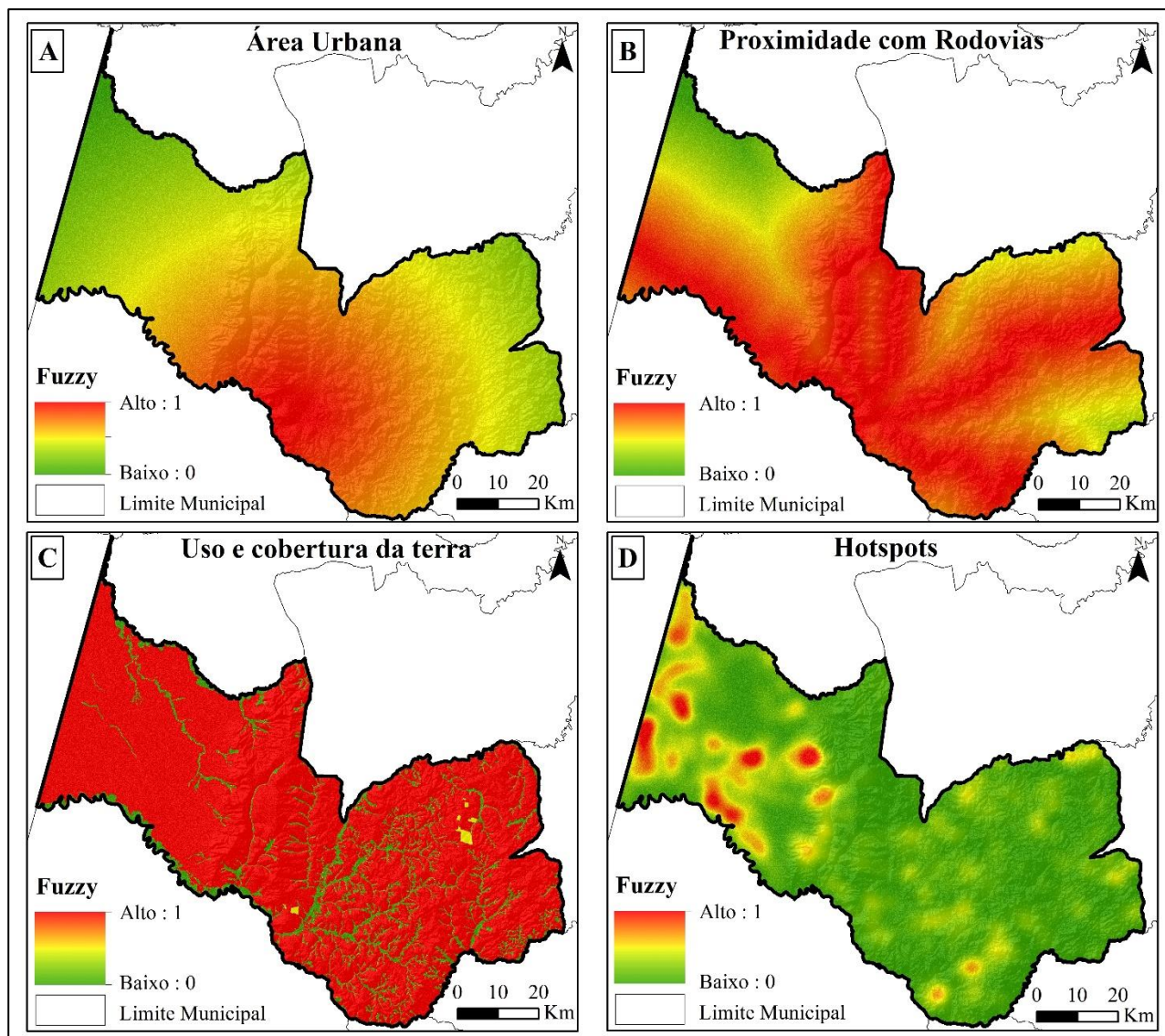


Figura 4. Espacialização dos pesos dados à área urbana (A), proximidade com rodovias (B), uso e cobertura da terra (C) e *hotspots* (D) no município de Coxim, MS.

A partir da padronização das variáveis por meio de sua classificação, tornou-se possível combiná-las para a composição do mapa de risco a incêndios por meio da ferramenta *Raster Calculator*, aplicando-se a equação expressa a seguir.

Equação 1:

$$RI = \frac{D + O + P + H + A + P + U + H}{8}$$

No qual: *RI*: risco a incêndio; *D*: declividade; *O*: orientação das vertentes; *P*: precipitação; *H*: hidrografia; *A*: área urbana; *P*: proximidade com rodovias, *U*: uso e cobertura da terra, *H*: *hotspot*.

O resultado da combinação das variáveis possui um *range* que variava entre 0 e 1. Dessa forma, para melhorar sua visualização e respectiva interpretação, os resultados foram agrupados em cinco classes, em intervalos semelhantes de 0,2, classificados entre muito baixo a muito alto risco a incêndio florestais (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação dos intervalos de risco de incêndio.

Risco a Incêndio	Intervalos
Muito Baixo	<0,2
Baixo	0,21 - 0,4
Médio	0,41 - 0,6
Alto	0,61 - 0,8
Muito Alto	0,81 - 1

Na Figura 5 pode-se observar o fluxograma que apresenta a organização da estrutura da metodologia do risco a incêndios, representando

todas as variáveis empregadas para elaboração do modelo.

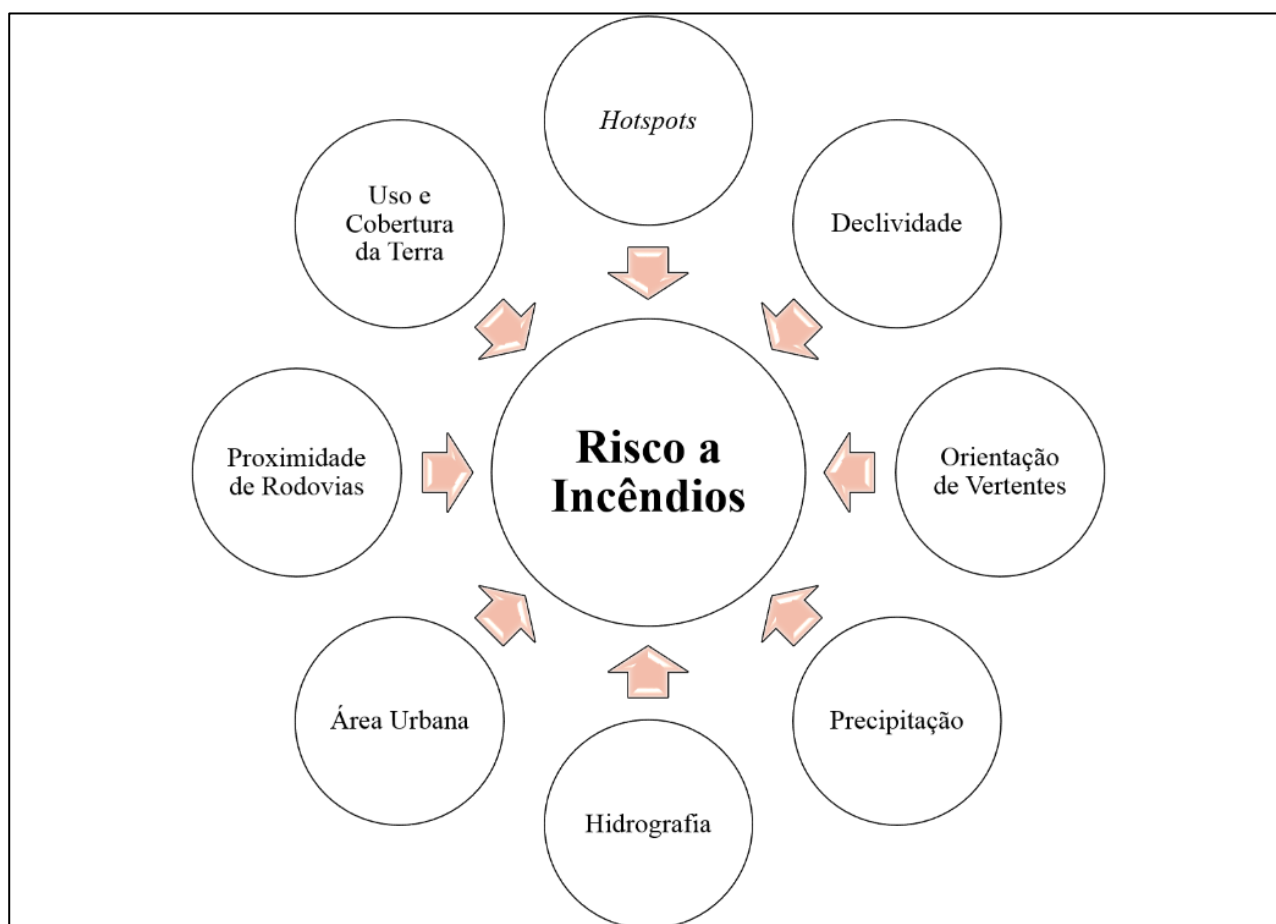


Figura 5. Fluxograma da metodologia do risco a incêndio.

Resultados e Discussão

A integração das variáveis contributivas para o risco a incêndios florestais permitiu a elaboração de mapeamento de risco em escala local para os limites internos do município de Coxim, MS. Foram identificados quatro níveis de riscos a incêndios florestais, nomeadamente: muito baixo, baixo, médio e alto risco, não sendo registradas áreas classificadas com muito alto risco a incêndios (Figura 6).

Como pode ser visualizado numericamente na Tabela 3, o muito baixo risco a incêndios florestais restringiram-se a área de apenas 0,23 km², localizadas principalmente em regiões com vertentes orientadas a sul, com baixas declividades e uso e cobertura da terra pouco vulneráveis a incêndios florestais.

As regiões identificadas com baixo risco a incêndios ocupam área de aproximadamente 490,71 km², isto é, 7,65% do total do município.

Espacializam-se, sobremaneira, pelas regiões sudeste, nordeste e noroeste do município, com restritos pontos localizados em sua porção central.

O médio risco consiste no principal nível de suscetibilidade do ambiente a incêndios florestais, ocupando uma área de 5.521,66 km², ou seja, 86,09% do território de Coxim. Distribui-se ao longo de todo o município, indicando uma significativa propensão do município à ocorrência de incêndios florestais.

O alto risco a incêndios florestais representa aproximadamente 6,25% do território

municipal, espalhando-se ao longo de aproximadamente 400,8 km². Concentra-se na porção central e oeste do município, às proximidades da escarpa pantaneira (declividades elevadas), da área urbana e das principais rodovias e estradas que cortam o município (Figura 5) corroborando com o resultado obtido por Oliveira et al. (2017) que também observaram a associação entre a alta declividade e rede viária para o aumento do risco a incêndios.

Tabela 3 – Quantificação das classes de risco a incêndios para o município de Coxim, MS.

Risco a Incêndio	Área (km ²)	Área (%)
Muito Baixo	0,23	0
Baixo	490,54	7,65
Médio	5.522,45	86,10
Alto	400,80	6,25
Muito Alto	-	-
Total	6413,79	100

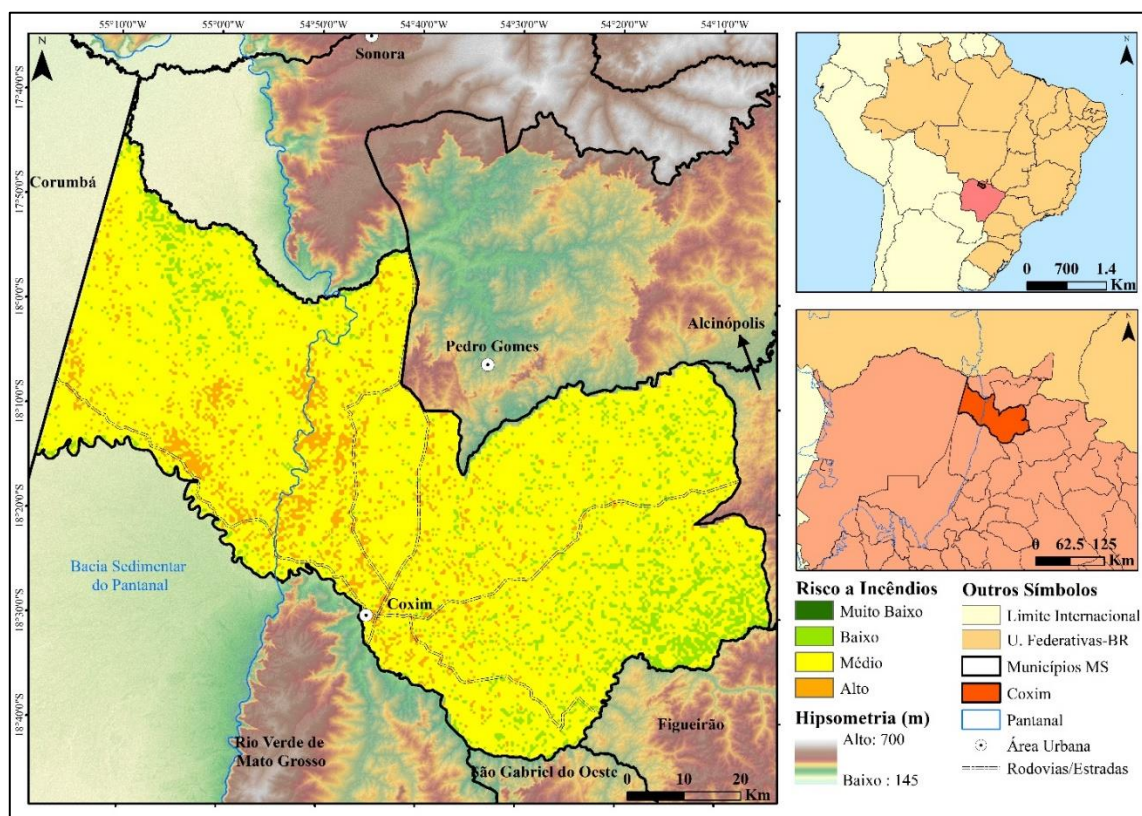


Figura 6. Mapa de risco a incêndios florestais do município de Coxim, região norte do Estado de Mato Grosso do Sul.

Conforme observado na Figura 6, o risco a incêndios está ligado diretamente à espacialização das variáveis ou fatores utilizados nesta metodologia. Por exemplo, o fator declividade está envolvido na discriminação de uma possível causa

de incêndio, visto que maiores aclives corroboram na disseminação do fogo (Ribeiro et al., 2011). Soares (1984) confirmou que em aclives acima de 10° a velocidade do fogo pode dobrar e em 20° quadruplicar. Esta é, portanto, umas das causas da

concentração de alto risco a incêndios na região central do município, onde há valores altos de declividade.

Para além da declividade, a orientação das vertentes também contribuiu para concentração do alto risco a incêndio na região central, próximo à Escarpa Pantaneira (Assine et al., 2005), no qual as vertentes possuem em sua maioria faces voltadas para o oeste, resultado semelhante ao detectado por Vargas-Sanabria e Quesada-Román (2018).

Outra variável colaborativa ao risco a incêndios é a presença da área urbana nesta mesma região, bem como a presença das principais estradas e rodovias que cortam o município. Partindo do princípio de que quanto mais próximo das áreas urbanas e das rodovias maiores são as probabilidades de se desenvolverem incêndios florestais, a concentração do alto risco nas proximidades da área urbana de Coxim.

A distribuição da rede hidrográfica consistiu em variável de contenção do risco a incêndios, visto que a hidrografia funciona como uma barreira natural à propagação de incêndios. Neste contexto, Coxim apresenta drenagens concentradas principalmente na região do planalto (densidade de drenagem de 0,75 km/km²), tendo uma expressiva diminuição de canais na região que compreende a bacia sedimentar do Pantanal (densidade de drenagem de 0,42 km/km²), a partir da ruptura topográfica representada pela Escarpa Pantaneira.

Outro fator que apresentou significativa influência no risco a incêndios foi o uso e cobertura da terra, pois este se refere, por um lado, à disponibilidade de materiais combustíveis e, por outro, a vegetações de maior resistência frente incêndios, como as formações florestais. Em Coxim predominam extensas áreas de pastagens, distribuídas ao longo de todo o município, seguida pela agricultura. Ambas classes de uso e cobertura da terra são reclassificadas com o mais alto grau de risco a incêndios, pois refletem um elevado potencial à incêndios, sobretudo se estiverem secas e apresentarem manejo incorreto. Neste contexto, o

Cerrado tem sido nos últimos 40 anos o centro da agricultura intensiva e o campo de expansão de pastagem no Brasil (Estrabis et al., 2019). Dessa forma, a expansão da agricultura e da pecuária interferem duplamente no risco a incêndios pois potencializam a disponibilidade de materiais combustíveis e interferem negativamente no balanço hídrico desta região (Spera, 2016)

Ademais da característica natural da vegetação, corrobora para o risco a incêndios o padrão meteorológico registrado no município. Neste contexto, Coxim apresenta precipitação média anual de 1.492 mm, possuindo elevada variação ao longo do ano. No período entre outubro, novembro, dezembro e janeiro registram-se elevações nos índices pluviométricos, enquanto entre fevereiro, março, abril e maio há reduções na pluviometria, com junho, julho, agosto e setembro constituindo os meses de menor pluviosidade, abaixo mesmo dos 60 mm (Figura 7), o que corrobora com Soares Neto et al. (2016) ao afirmarem que no Cerrado o período de estiagem varia entre maio a setembro.

A temperatura média anual, de 24,5 °C, registra variações mensais de até 1,9° acima nos períodos mais quentes e 3,9° abaixo nas épocas mais frias. A análise da temperatura anual indica dois períodos distintos: um intervalo quente entre outubro a abril, com temperaturas entre 26,4°C a 25°C e outro mais frio entre maio a setembro, no qual as temperaturas variam entre os 20,6 a 24,7°C (Figura 7).

A comparação entre os padrões de precipitação e de temperatura permite a compreensão de três grandes períodos: (a) entre outubro a janeiro, no qual a precipitação está em ascensão com temperaturas superiores a 26°C; (b) entre fevereiro a maio, em que a pluviosidade está em decréscimo, com temperatura média de 24,8°C e; (c) entre junho a setembro, no qual a precipitação encontra-se em seus menores índices (abaixo dos 60 mm) e temperatura baixa, em média de 22,3°C (Figura 7).

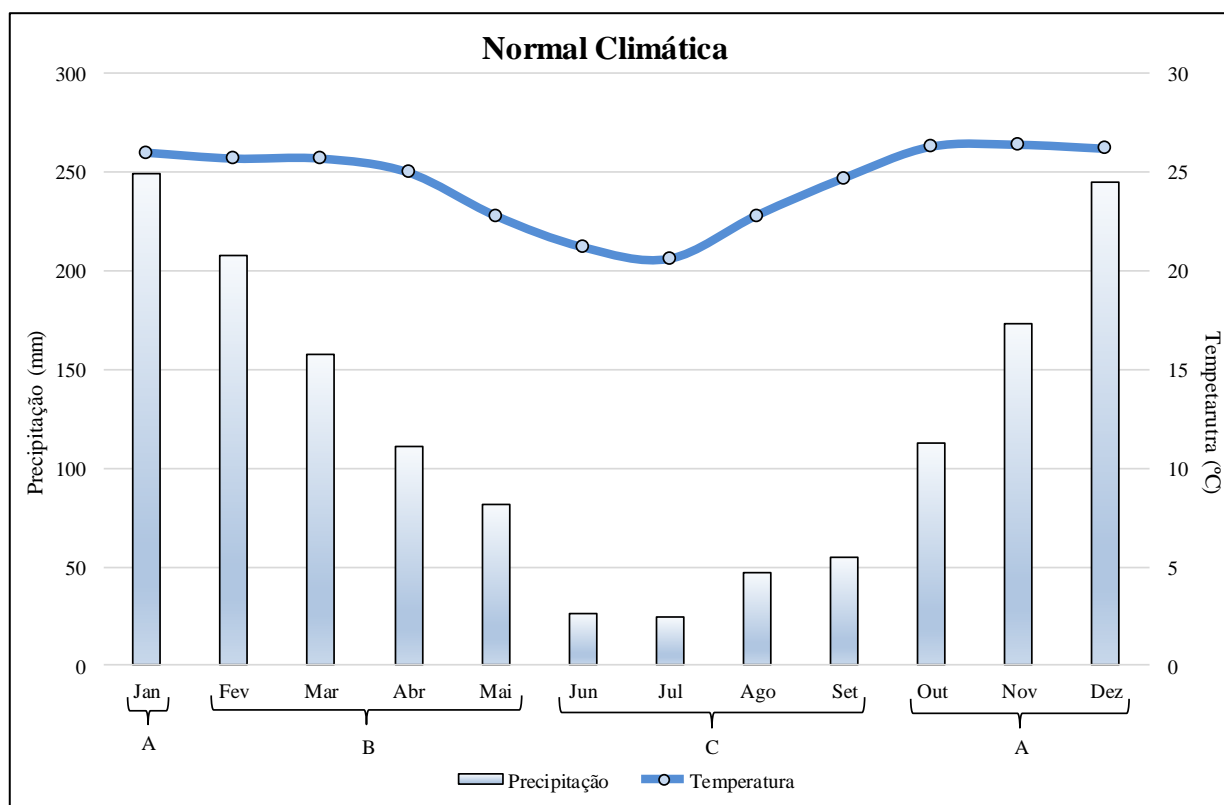


Figura 7. Normal climática para o município de Coxim, MS, com identificação dos três grandes períodos reconhecidos neste trabalho.

Destaca-se que a precipitação varia espacialmente ao longo do município, possuindo valores mais elevados no planalto, reduzindo em direção ao oeste, no interior da bacia pantaneira a índices médios que variam entre 800 e 1.300 mm, indicando um balanço hídrico anual negativo, pois a evaporação média no Pantanal mantém-se entre 1.300 e 1.600 mm (Alho, 2005).

Além da precipitação e temperatura, outro fator que contribui para a compreensão da distribuição temporal dos incêndios florestais refere-se ao balanço hídrico, entendido como a expressão da quantidade de água que entra e sai do sistema solo-planta-atmosfera (Souza et al., 2015). Valores positivos de balanço hídrico indicam maior disponibilidade de água no sistema, enquanto os valores negativos representam o seu déficit.

Desta forma, o balanço hídrico anual para o município de Coxim (Embrapa, 2019) indica três períodos distintos: (a) índices positivos entre os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março; (b) índices nulos durante os meses de abril, maio e

novembro; (c) índices negativos (estresse hídrico) ao longo dos meses de junho, julho, agosto, setembro e outubro (Figura 8).

Entre os meses de janeiro e abril o decréscimo da precipitação é refletido na diminuição do balanço hídrico. Entretanto, apesar da diminuição acentuada da precipitação, registrando os menores índices entre junho e julho, o balanço hídrico segue apresentando decréscimo linear desde maio até agosto. Contudo, seu menor valor registra-se em setembro, a despeito de uma pequena retomada da precipitação em agosto (8 mm). Este fato pode indicar que as precipitações não foram suficientes para evitar a diminuição de água no sistema, situação contrária à registrada a partir de outubro, no qual a precipitação passa a constituir o principal fator para a elevação dos valores do balanço hídrico, revertendo a situação de estresse já no mês de novembro. Desta forma, o período entre setembro a novembro caracteriza-se como o período de recarga do sistema.

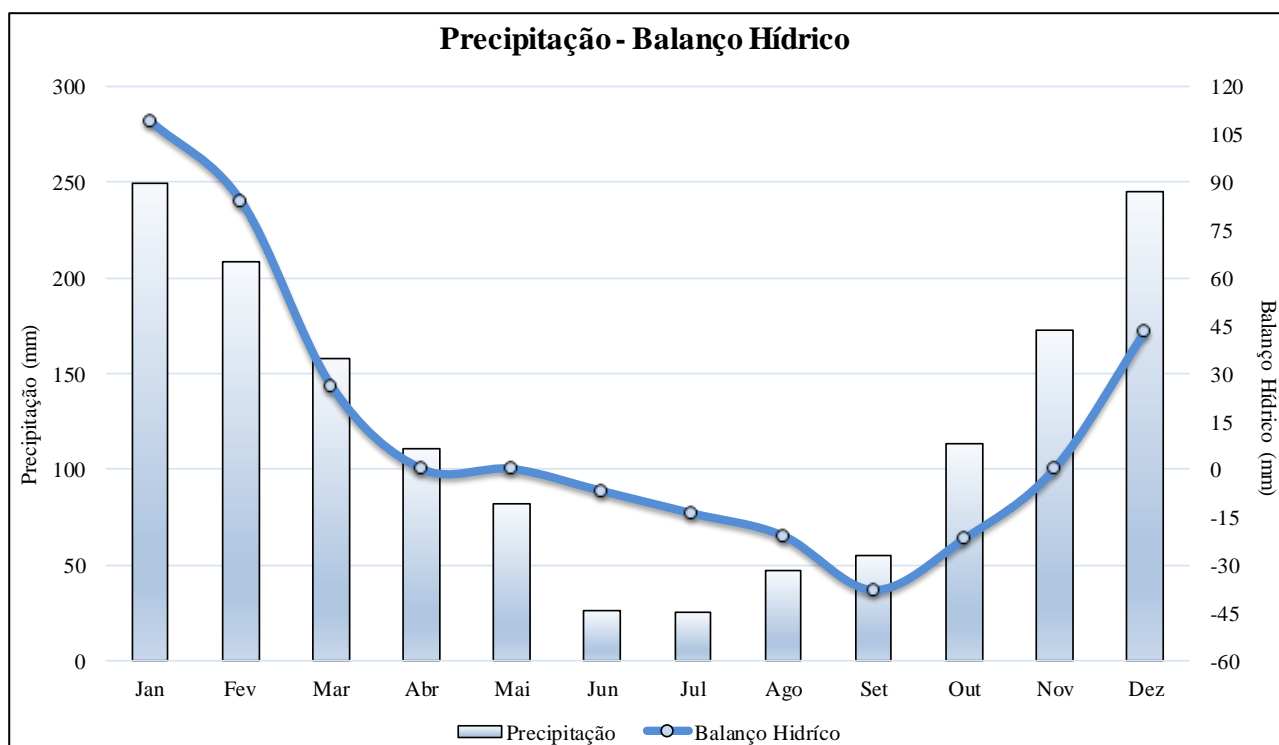


Figura 8. Balanço hídrico normal e precipitação mensais para o município de Coxim, MS.

O balanço hídrico negativo nos citados meses agrava temporalmente o risco a incêndios, sobretudo quando associado a áreas com vertentes voltadas para o oeste, resultando assim, na diminuição do percentual de umidade do solo e da atmosfera. Esta falta de umidade, pode ocasionar a queda das folhas das árvores, resultando assim, numa maior disponibilidade de materiais combustíveis a incêndios florestais.

Tal fato é corroborado em parte quando se analisa a distribuição mensal média dos *hotspots* ao longo do período compreendido entre 1998-2007 (Figura 9). Enquanto entre os meses de janeiro a abril, há relativa linearidade dos *hotspots* em valores abaixo dos 45 pontos, a partir de maio – segundo mês consecutivo a registrar balanço hídrico nulo – registram-se elevações sucessivas nestes índices, atingindo pico crítico ao longo dos meses de agosto e setembro (824 e 923 *hotspots*, respectivamente).

A distribuição temporal dos *hotspots* permite a identificação de quatro períodos distintos, em certa medida, coincidentes àqueles relacionados à precipitação e ao balanço hídrico, são eles: (a) período entre janeiro a abril, no qual registra-se significativa estabilidade, com *hotspot* médio de apenas 33,5, valor 88% abaixo da média anual para o município (283,5). Ao longo deste período é notada diminuição da precipitação e conseqüentemente do balanço hídrico, com abril

registrando índices nulos, sem que este afete significativamente no aumento dos pontos de calor.

O segundo período (b), entre maio, junho e julho, caracteriza-se por uma sucessiva ascensão nos *hotspots*, com média de 133 pontos, 53% abaixo da média anual. Nestes meses, observa-se a redução e estabilização da precipitação em seus índices mínimos (Figura 7), com o balanço hídrico registrando índice nulo em maio e negativos a partir de junho (Figura 8).

O terceiro período (c), denominado de crítico, refere-se aos meses de agosto e setembro, no qual registra-se *hotspot* médio de 873,5, 208% acima da média anual. Este período coincide com uma pequena elevação na precipitação (de apenas 8 mm), mas com um decréscimo acelerado do balanço hídrico, no qual setembro registra o menor valor (-38 mm).

Por fim, o quarto período (d) refere-se aos meses de outubro, novembro e dezembro que, apesar de apresentarem *hotspot* médio de 374 (31% acima da média anual), caracterizam-se por uma sucessiva redução nos pontos de calor, atingindo valores mínimos de 198 pontos ao longo do mês de dezembro. Este período coincide com a retomada da precipitação e conseqüentemente do balanço hídrico, com dezembro apresentando os índices mais elevados. A média mensal de *hotspots* para o período de 1998-2007 pode ser observada na Figura 9.

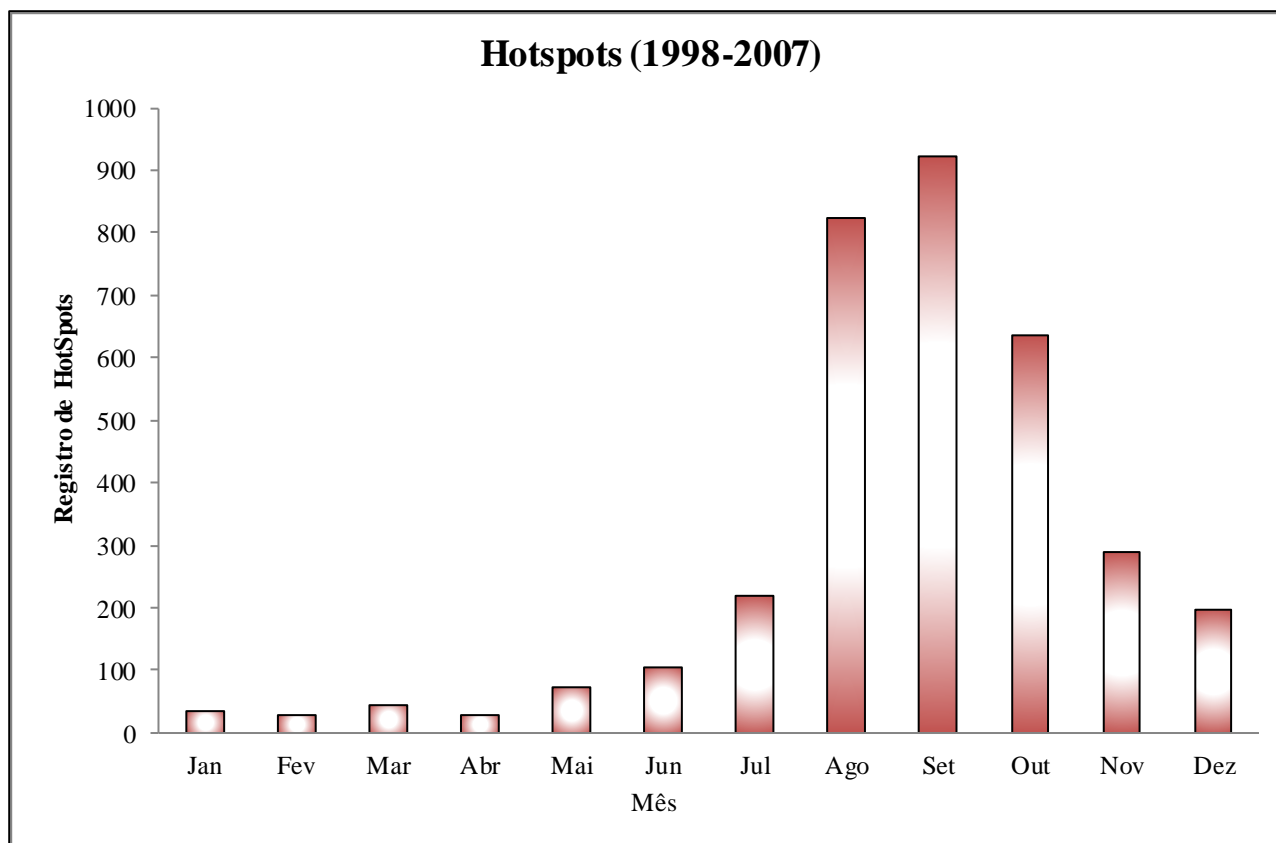


Figura 9. Média mensal histórica dos hotspots entre junho de 1998 a dezembro de 2007.

A análise da distribuição espacial do risco a incêndios (Figura 6), associada ao período mais seco permite a compreensão da escala espacial e temporal do risco a incêndios florestais no município de Coxim. Enquanto espacialmente as áreas de alto risco a incêndios florestais concentram-se na região central e oeste, próximo de declividades elevadas (escarpa pantaneira), da área urbana e das principais rodovias e estradas que cortam o município (Figura 6), temporalmente o risco faz-se maior durante os meses de agosto, setembro e outubro.

Dessa forma, compreende-se que o risco a incêndios florestais em Coxim decorre, para além da associação das condições físicas e antrópicas, da disponibilidade de materiais combustíveis gerados pela ocorrência de condições atmosféricas críticas, como alta temperatura, balanço hídrico negativo e baixa umidade (Kovalsyki et al., 2019). Assim, a maior proporção de incêndios florestais ocorrerão em maior magnitude e intensidade em condições “ideais” (Soares et al., 2017), isto é, em condições mais quentes e secas (Seidl et al., 2017) tornando o monitoramento de áreas mais susceptíveis a incêndios florestais numa política pública extremamente importante.

Por isso, a compreensão de ambas as escalas, oportuniza a definição de políticas de prevenção, monitoramento, mitigação e remediação dos impactos negativos dos incêndios

florestais, procurando dessa maneira racionalizar a gestão pública. Na literatura, diversos trabalhos que empregaram técnicas de geoprocessamento para o mapeamento do risco a incêndios florestais (Anderson et al., 2016, White et al., 2016, Vargas-Sanabria e Quesada-Román, 2018, Lopes et al., 2018) também proporcionaram um resultado muito útil em prol do monitoramento e do ordenamento e planejamento de políticas públicas para a gestão dos incêndios. Assim, com estes subsídios em mãos, o poder público deve direcionar maior atenção para as áreas de maior risco a incêndios ao longo, sobretudo, dos meses mais críticos, evitando eventos catastróficos e de impactos negativos para a sociedade, ao meio ambiente e mesmo à economia.

Conclusão

A combinação das variáveis contributivas aos incêndios florestais obtidas por meio de técnicas de geoprocessamento neste trabalho foi capaz de desenvolver um mapeamento das áreas susceptíveis aos incêndios florestais, permitindo classificá-las de acordo ao seu potencial de risco a incêndio, atingindo dessa maneira o objetivo proposto no início deste trabalho.

O mapeamento gerado para Coxim, MS, expressou o predomínio do médio risco a incêndios, o qual representou 86,10% da área total do município. O baixo risco constituiu a segunda

maior classe, ocupando 7,65% do total, enquanto as áreas de alto risco a incêndios concentraram-se na região central, representando 6,25% do total do município. Esta concentração de alto risco a incêndios na porção central decorre da concomitância da baixa pluviosidade, distância acentuada da rede de drenagem, das características topográficas das vertentes e ao uso e cobertura da terra com classes altamente susceptível a incêndios, expressando as áreas de maior preocupação em relação às políticas de gestão dos incêndios florestais. Algumas regiões no Pantanal também apresentaram alto risco a incêndios, sobretudo àquelas próximas às estradas e com significativa concentração de *hotspot*, porém, referem-se a áreas de maior dificuldade de acesso em casos emergenciais, o que exige uma dupla atenção do poder público para a sua gestão.

Os resultados obtidos no presente trabalho contribuem na prevenção, no combate e mesmo na mitigação dos incêndios florestais, oportunizando subsídios para o delineamento de estratégias e políticas públicas voltadas para o ordenamento e planejamento do território.

Recomenda-se, portanto, para o município, atenção concentrada para os meses de seca, onde ocorrem os picos de estresse hídrico e o aumento na ocorrência de *hotspots*. Deve-se realizar, também, um acompanhamento anual para detecção e monitoramento dessas áreas críticas, tornando-se assim uma excelente ferramenta de prevenção. Medidas adicionais podem ser adotadas, tais como: construção de aceiros no entorno de cercas entre fazendas e precipuamente em entradas e rodovias; manutenção de estradas rurais, principalmente aquelas de conexão a locais de difícil acesso; construção de açudes em áreas estratégicas próximas a locais de maior risco para a captação de água no combate às chamas; controle de materiais combustíveis, principalmente nos períodos mais secos; elaboração de plano de ação de combate a incêndios florestais, definindo-se as responsabilidades das instituições governamentais e da sociedade civil (Prefeitura Municipal de Coxim, Corpo de Bombeiros e Polícia Militar Ambiental de MS, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA, Sindicato Rural entre outras) e a estruturação de campanhas educativas de prevenção a incêndios florestais, dentre outras medidas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) -

Código de Financiamento 001. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

Referências

- Alho, C.J.R., 2005. The Pantanal. In FRASER, L. H., KEDDY, P. A. (Org.). *The World's Largest Wetlands - Ecology and Conservation*. New York, USA: Cambridge University Press, 203-271.
- Anderson, L.O, Yamamoto, M., Cunningham, C., Fonseca, M. G., Fernandes, L. K., Pimentel, A., Brown, F., Silva Junior, C. H. L., Lopes, E. S. S., Moreira, D. S., Salazar, N., Andere L., Rosan, T. M., Reis, V., Aragão, L.E.O.C., 2017. Utilização de dados orbitais de focos de calor para caracterização de riscos de incêndios florestais e priorização de áreas para a tomada de decisão. *Revista Brasileira de Cartografia [Online]* 69, 1-15.
- Antunes, M.A.H., 2000. Uso de satélites para detecção de queimadas e para avaliação do risco de fogo. *Ação Ambiental* 12, 24-27.
- Assine, M. L., 2005. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. *Geomorphology* 70, 357-371. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.013>.
- Assunção, R., Tetto, A.F., Batista, A.C., 2017. O uso tradicional do fogo no assentamento Vale Verde, em Gurupi/TO. *Revista Espacios* 1, 381-19.
- Bacani, V.M., 2016. Geoprocessing applied to risk assessment of forest fires in the municipality of Bodoquena, Mato Grosso do Sul. *Revista Árvore* 40, 1003-1011. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000600005>.
- Barbosa, R. I., Fearnside, P. M., 1999. Incêndios na Amazônia Brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento “El Nino” (1997/98). *Acta Amazônica, Manaus* 29, 513-534.
- Brasil, 2016. Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização – Portaria MMA nº223, de 21 de junho de 2016. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília.
- Coutinho, L.M., 1980. As Queimadas e seu Papel Ecológico. *Revista Brasil Florestal*, 10, 7-23.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2019. Atlas Pluviométrico do Brasil – Mapa de Isoietas de Precipitações Médias Anuais do Brasil. Base de dados Mapas e

- Publicações. Disponível: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. Acesso: 02 Ago. 2019.
- Cunha, E.R., Bacani, V.M., 2015. Sensoriamento remoto e SIG aplicados ao mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do córrego Indaiá. *Geusp – Espaço e Tempo* [Online] 19, 630-646. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geusp.2015.107612>.
- Dowdy, A.J., Fromm, M. D., McCarthy, N., 2017. Pyrocumulonimbus lightning and fire ignition on Black Saturday in southeast Australia, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 122, 7342–7354. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017JD026577>.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2019. Monitoramento por Satélite. Banco de Dados Climáticos do Brasil. Disponível: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/bdcli/ma/>. Acesso: 01 Nov. 2019.
- ESRI, 2018. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Estrabis, N.V., Marcato Junior, J., Pistori, H., 2019. Mapeamento da Vegetação Nativa do Cerrado na Região de Três Lagoas-MS com o Google Earth Engine. *Revista Brasileira de Cartografia* [Online] 71, 702-725. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv71n3-47461>
- Ferraz, S.F.B., Vettorazzi, C.A., 1998. Mapeamento de risco de incêndio florestal por meio de sistema de informações geográficas (SIG), *Scientia Florestalis*, 39-48.
- Ferreira, H.R., Batista, A.C., Tetto, A.F., Kovalsyki, Santos, B., J.F.L.dos, 2020. Incêndios em vegetação em conjunto com outros materiais combustíveis na interface urbano-rural de Curitiba-PR. *BIOFIX Scientific Journal* 5, 108-113. DOI: <dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i1.67832>
- Forman, R.T.T., Collinge, S.K., 1997. Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. *Landscape and Urban Planning* 37, 129-135. DOI: [https://doi.org/10.1016/S01692046\(96\)00378-7](https://doi.org/10.1016/S01692046(96)00378-7)
- Franca-Rocha, W.J.S., Santos, S.M.B., Gonçalves, A.J.B., Ferreira-Leite, F., 2017. Are There Mega Fires in Brazilian Savannas? The National Park of Chapada Diamantina Case (Bahia, Brazil) In: Antônio José Bento Gonçalves; Antônio Avelino Batista Vieira; Maria Rosário Melo Costa; José Tadeu Marques Aranha. (Org.). *Wildfires: Perspectives, Issues and Challenges of the 21st Century*. 1ed. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, 1, 29-54.
- Gibson, C.M., Turetsky, M.R., Cottenie, K., Kane, E.S., Houle, G., Kasischke, E.S., 2016. Variation in plant community composition and vegetation carbon pools a decade following a severe fire season in interior Alaska. *Journal of Vegetation Science* 27, 1187–1197. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvs.12443>.
- Gonçalves, N.G., Mesquita, F.W., Lima, N.R.G., Coslope, L.A., Lintomen, B.S., 2011. Recorrência dos Incêndios e Fitossociologia da Vegetação em Áreas com Diferentes Regimes de Queima no Parque Nacional da Chapada Diamantina. *Biodiversidade Brasileira* 1, 161-179.
- Ibarra-Montoya, J.L., Huerta-Martínez, F.M., 2016. Modelado espacial de incendios: una herramienta predictiva para el Bosque La Primavera, Jalisco México. *Ambiente & Água* [Online] 11, 1-15. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1536>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Brasil em síntese: território. 2019, Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso: 23 mar. 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Coordenação de Geografia. Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias. Rio de Janeiro.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil. Rio de Janeiro. Escala: 1:250.000.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Estimativas da População Residente no Brasil e Unidades da Federação com Data de Referência em 1º de Julho de 2019. Rio de Janeiro.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. Sistema de Monitoramento – Banco de Dados de Queimadas. Disponível: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso: 03 Ago. 2019.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2020. Sistema de Monitoramento – Banco de Dados de Queimadas. Disponível: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/aq1km/>. Acesso: 27 Mar. 2020.
- Jaiswal, R.K., Mukherjee, S., Raju, K.D., Saxena, R., 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International*

- Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 4, 1-10. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00006-5)
- Kovalsyki, B., Casimiro Junior, L.D., Assunção, R., Travenisk, R.C.C., Tetto, A.F., Batista, A.C., 2019. Avaliação de espécies arbóreas para composição de cortinas de segurança contra incêndios florestais. *Nativa* 7, 197-203. DOI:
- Kukavskaya, E.A., Buryak, L.V., Shvetsov, E.G., Conard, S.G., Kalenskaya, O.P., 2016. The impact of increasing fire frequency on forest transformations in southern Siberia. *Forest Ecology and Management* 382, 225-235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.015>.
- Kunholtz-Lordat, G., 1938. *La Terre In cendiee*. Editions de la Maison Carrée, Ateliers Bruguier, Nimes.
- Leite, C.C.S.de.S., Santos, S.M.B.dos, Franca Rocha, W.de.J.S.; Silva, A.de.B., Baptista, G.M.de.M., 2017. Análise dos incêndios ocorridos no parque nacional da Chapada Diamantina-Bahia em 2008 e 2015 com suporte em índices espectrais de vegetação. *Revista Brasileira de Cartografia [Online]* 69, 1-15.
- Lopes, E.R.do.N., Silva, A.P.P., Peruchi, J.F., Lourenço, R.W., 2018. Zoneamento de risco de incêndio e queimadas no município de Sorocaba –São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia* 36, 1-13. DOI: [10.11606/rdg.v36i0.148048](https://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.148048)
- Matos, N.M.de., 2014. Incêndios florestais no bioma pantanal: dinâmica espacial e temporal entre 2003 e 2013. 2014. 107 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília.
- Meneses, B., 2015. Os Incêndios Florestais e a Qualidade da Água. In: VIII CONGRESSO IBÉRICO DE GESTÃO E PLANEJAMENTO DA ÁGUA, 2013, Lisboa. Anais...Lisboa: Fundación Nueva Cultura del Agua, 869-875.
- Miranda H.S., Sato M.N., Neto W.N., AIRES, F.S., 2009. Fires in the cerrado, the Brazilian savanna. In: *Tropical Fire Ecology*. Springer Praxis Books. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 427-450.
- Miranda, H.S., Rocha e Silva, E.P., Miranda, A.C., 1996. Comportamento do Fogo em Queimadas de Campo Sujo. In: Miranda, H. S.; Saito, C. H.; Dias, B. F. de S. (Org.) *Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga*. Brasília: UnB, ECL, 1 – 10.
- Mistry, J., Berardi, A., 2005. Assessing fire potential in a Brazilian Savanna nature reserve. *Biotropica* 37, 439-451. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00058.x>.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. O Bioma Cerrado, 2020. Disponível: <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso: 23 Mar. 2020.
- Molina, C.M., Galiana-Martín, L., 2016. Fire Scenarios in Spain: A Territorial Approach to Proactive Fire Management in the Context of Global Change. *Forest* 7, 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/f7110273>.
- Nascimento, I.V., 2001. Cerrado: o fogo como agente ecológico. *Territorium* 8, 25-35. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_8_3.
- Oliveira, A.L.S.de., Nero, M.A., Tavares Júnior, J.R., Candeias, A.L.B., Nóbrega, R.A.A., 2017. Comparação e validação de modelagem especial de risco a incêndios considerando diferentes métodos de predição. *Boletim de Ciência Geodésica* 23, 1-22. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1982-21702017000400037>.
- Omena, M.T.R.N.de., Araki, E.K.; Schimalski, M.B., Taniwaki, M.H.; Santos, P.S., 2016. Zoneamento do Risco de Incêndio Florestal para o Parque Nacional de São Joaquim – SC. *Biodiversidade Brasileira* 6, 173-186.
- Parzen, E., 1962. On estimation of a probability density function and mode. *The Annals of Mathematical Statistics* 33, 1065- 1076.
- Payette, S., Pilon, V., Couillard, P.L., Laflamme, J., 2017. Fire History of Appalachian Forests of the Lower St-Lawrence Region (Southern Quebec). *Forest*, 8, 120, 1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/f8040120>.
- Pezzopane, J.E.M., Oliveira Neto, S.N., Vilela, M.F., 2001. Risco de incêndios em função da característica do clima, relevo e cobertura do solo. *Floresta e Ambiente* 8, 161-166.
- Por, F.D. 1995. *The Pantanal of Mato Grosso (Brazil) - World's Largest Wetlands*. Dordrecht, The Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- Ratter, J.A., Ribeiro, J.F., Bridgewater, S., 1997. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany [Online]* 80, 223-230. DOI: <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0469>.
- Rebelo, F., 1996. Florestas e grandes incêndios florestais no mundo. *Territorium* 3, 1-6.
- Ribeiro, L., Soares, R.V., Beppler, M., 2012. Mapeamento do risco de incêndio florestais no município de Novo Mundo, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Cerne Lavras* 18, 117-126. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000100014>

- Rouw, A., 1994. Effect of fire on soil, rice, weeds and forest regrowth in a rain forest zone (Côte d'Ivoire). *Catena* 22, 133-152. DOI: [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90022-1).
- Santos, S.M.B. dos., Franca-Rocha, W. de J.S. da., Bento-Gonçalves, A.J., Baptista, G.M. de M., 2017. Quantificação e avaliação dos focos de calor no parque nacional da chapada diamantina e entorno no período de 2007 a 2016. *Revista Brasileira de Cartografia* [Online] 69, 701-712.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V.; Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T.A., Reyer, C.P.O., 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change* 7, 395-402. DOI: <https://dx.doi.org/10.1038/nclimate3303>
- Setzer, A.W., Sismanoglu, R.A., Martins, G., 2017. Metodologia do Cálculo do Risco de Fogo do Programa Queimadas do Inpe - Versão 10, Junho/2016. São José dos Campos: INPE, 31. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PNK9TH>>. Acesso: 03 Ago. 2019.
- Silva, E.R.S., 2020. Geomorfologia e Dinâmica Fluvial do Rio Paraguai no Trecho entre Cáceres-MT e Corumbá-MS. Dissertação (Mestrado em Geografia). Três Lagoas/MS, UFMS.
- Silva, J.C.da., Fiedler, N.C., Ribeiro, G.A., Silva Junior, M.C.da., 2003. Avaliação de brigadas de incêndios florestais em unidades de conservação. *Revista Árvore* [Online] 27, 95-101. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000100013>.
- Silva, J.S.V.; Pott, A.; Abdon, M.M.; Pott, V.J.; Santos, K.R., 2011. Projeto GeoMS: Cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária.
- Soares, R.V., 1984. Prevenção e controle de incêndios florestais. Curitiba: FUPEF, 160.
- Soares, R.V., 1985. Incêndios florestais: controle e uso do fogo. Curitiba: FUPEF, 213.
- Soares, R.V., 1992. Ocorrência de Incêndios em Povoamentos Florestais. *Revista Floresta* 22, 39-53.
- Soares Neto, G.B., Bayma, A.P., Faria, K.M.de., Oliveira, E.Gde., Menezes, P.H.B.J., 2016. Risco de incêndios florestais no Parque Nacional de Brasília – Brasil. *Territorium* [Online] 23, 161-170. DOI: http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723_23_13.
- Soares, R.V.; Batista, A.C.; Tetto, A.F., 2017. Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo. 2. ed. Editores independentes, Curitiba, pp 255.
- Spera, S.A.; Galford, G.L.; Coe, M.T., Macedo, M.N.; Mustard, J.F., 2016. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. *Global Change Biology*. [Online] 22, 3405–3413. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13298>.
- Steel, Z.L., Safford, H.D., Viers, J.H., 2015. The fire frequency-severity relationship and the legacy of fire suppression in California forests. *Ecosphere* 6, 1-23. DOI: <http://doi.org/10.1890/ES14-00224.1>.
- Torres, F.T.P., Roque, M.P.B., Lima, G.S., Martins, S.V., Faria, A.L.L., 2017. Mapeamento do risco a incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. *Floresta e Ambiente* (Online), Seropédica 24, 1-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v15i1.1057>.
- Turco, M., Jerez, S., Augusto, S., Tarín-Carrasco, P., Ratola, N., Jiménez-Guerrero, P., Trigo, R.M., 2019. Climate drivers of the 2017 devastating fires in Portugal. *Scientific Reports*, 9, 13886. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50281-2>.
- Gouveia, C.M., Bistinas, I., Liberato, M.L.R., Bastos, A., Koutsias, N., Trigo, R., 2016. The outstanding synergy between drought, heatwaves and fuel on the 2007 Southern Greece exceptional fire season. *Agricultural and Forest Meteorology* 218–219, 135–145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.023>.
- Van Marle, M.J.E., Field, R.D., Van Der Werf G.R., Estrada de Wagt, I.A., Houghton, R.A., Rizzo, L.V., Artaxo, P., Tsigaridis, K., 2017. Fire and deforestation dynamics in Amazonia (1973–2014). *Global Biogeochem Cycles* 31, 24–38. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016GB005445>.
- Vargas-Sanabria, D., Quesada-Román, A., 2018. Influencia geomorfológica en la vulnerabilidad a incendios forestales en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales* [Online] 52, 1-15. DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.52-2.1>.
- Vettorazzi, C.A., Ferraz, S.F.B., 1998. Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. *Série Técnica IPEF*, Piracicaba 12, 111 – 115.
- White, L.A.S., White, B.J.A., Ribeiro, G.T., 2016. Modelagem espacial do risco a incêndio

florestal para o município de Inhabuque – BA.
Pesquisa Florestal Brasileira [Online] 36, 1 –
10. DOI:
<https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.85.850>.
Zubkova, M., Boschetti, L. Zubkova, M.,
Boschetti, L., Abatzoglou, J.T., & Giglio, L.,

2019. Changes in fire activity in Africa from
2002 to 2016 and their potential drivers.
Geophysical Research Letters 46, 7643–7653.
DOI: <https://doi.org/10.1029/2019GL083469>.