



RISCOS



ZONEAMENTO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA ÁGUAS EMENDADAS,
DISTRITO FEDERAL (BRASIL)*

FOREST FIRE HARZARD ZONE IN THE AGUAS EMENDADAS ECOLOGICAL STATION,
FEDERAL DISTRICT (BRAZIL)

Ana Paula Silva Camelo

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Brasil)
ORCID 0000-0002-1189-2070 paulaforestal@gmail.com

Keila Sanches

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Brasil)
ORCID 0000-0002-8264-2896 keila.sanches@ifb.edu.br

Bruno Nakagomi

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Brasil)
ORCID 0000-0002-7155-0646 bruno.nakagomi@gmail.com

RESUMO

O aumento no número de ocorrências de incêndios florestais no bioma Cerrado é considerado uma ameaça à sua conservação. Dessa forma, as áreas protegidas por meio das Unidades de Conservação (UC) são fundamentais para a proteção dos biomas brasileiros. No entanto, mesmo essas áreas são acometidas por incêndios que comprometem suas integridades. Neste sentido, este estudo teve como objetivo elaborar o zoneamento do risco de incêndio florestal da UC Estação Ecológica Águas Emendadas por meio do método multicritério aditivo, validá-lo com as cicatrizes dos incêndios ocorridos entre os anos de 2011 a 2015 e avaliar a espacialidade do risco a incêndios florestais. Foi observado que nenhuma área da UC estudada foi classificada como zona de risco Extremo, no entanto mais de 60% da UC foi classificada em zonas de Alto ou Muito Alto risco a incêndios. A validação mostrou que 80% dos incêndios ocorreram sobre áreas com risco mediano a incêndios florestais como formações savânicas ou campestres. Foi obtido um Índice Global de Moran para o risco de incêndios florestais no valor de 0.83 indicando uma elevada autorrelação espacial, além disso, o Índice Local de Moran identificou como regiões mais críticas as áreas de interface de vegetação nativa e áreas urbanas.

Palavras-chave: Incêndios florestais, Cerrado brasileiro, risco ambiental.

ABSTRACT

The increased occurrence of forest fires is a threat to the conservation of the Cerrado biome. Thus, protected areas such as Conservation Units (UC) are fundamental for its preservation. However, even these areas are affected by fires that compromise their integrity. This study aimed to draw up a fire risk zoning scheme for the Águas Emendadas Ecological Station conservation unit, validate it with the scars of fires that occurred between 2011 and 2015 and evaluate the existence of spatial risk to wildfires. No part of the UC was classified as an Extreme risk zone, however over 60% of the UC was classified as areas of High or Very High fire risk. The validation showed that 80% of fires occurred in medium risk zones such as savannah or grassland. Moran's Global Index gave a forest fire risk value of 0.83, indicating a high spatial autocorrelation and the Moran Local Index identified the wildland-urban interface areas as the most critical regions.

Keywords: Forest fire, Brazilian Cerrado, environmental risk.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no III Simpósio Ibero-Afro-Americano de Riscos, tendo sido submetido em 23-07-2019, sujeito a revisão por pares a 31-10-2019 e aceite para publicação em 31-01-2020.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 27 (II), 2020, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

O Cerrado brasileiro é o segundo maior bioma do Brasil ocupando 200 milhões de hectares, equivalentes a 24% do território brasileiro (Klink e Machado, 2005; Sano *et al.*, 2010). Esse bioma é a savana mais biodiversa do mundo, considerada um hotspot global de biodiversidade para conservação (Klink e Machado, 2005; Myers *et al.*, 2000) e nas últimas décadas tem sido constantemente ameaçada pelo uso indiscriminado do fogo (Durigan e Ratter, 2016). Entre 2002 e 2010, a área queimada no Cerrado representou aproximadamente 73% (545.000 km²) do total de área queimada no Brasil (Moreira de Araújo *et al.*, 2012), não obstante a área queimada representa 26,65 % da área de todo do bioma Cerrado.

Nesse sentido, as Unidades de Conservação (UC) descritas e estabelecidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Brasil, 2000), assumem um papel fundamental na conservação deste bioma, formando ilhas de proteção territorial e dos seus recursos ambientais. No entanto, as UCs também têm sido frequentemente acometidas por incêndios, causados principalmente pelo uso indiscriminado do fogo, como ferramenta de manejo agropecuário (Medeiros, 2002). De forma geral, os danos causados pelos incêndios florestais nas UCs, ocasionam prejuízos ambientais, sociais e econômicos (Aximoff e Rodrigues, 2011). Para Torres *et al.* (2017a) os incêndios florestais estão entre as principais ameaças à biodiversidade, mesmo em áreas protegidas. Conforme afirmam Ramos *et al.* (2016) a efetividade das unidades de conservação (UCs) na proteção dos territórios contra incêndios florestais se relaciona com a capacidade destas em impedir a ocorrência de queimadas, com causas antrópicas, em seu interior.

É importante destacar que a ocorrência do fogo é um componente comum no bioma, fazendo parte de sua evolução (Lacey *et al.*, 1982; Neves *et al.*, 2018). Ou seja, a formação atual do Cerrado é decorrente, entre outros fatores, de um longo convívio com o fogo em diferentes regimes de queima (Ribeiro *et al.*, 2012; Zacharias, 2013). Além disso, o fogo no Cerrado é responsável pelo desbaste natural de gramíneas e a quebra de dormência de sementes (Lemes *et al.*, 2014).

Também merece destaque que em 1993 foi criada a primeira Reserva da Biosfera do Cerrado localizada no Distrito Federal com o intuito de preservar a biodiversidade local. A Reserva é composta por áreas nucleares que preservam aproximadamente 48.000 ha de diversas fitofonias do Cerrado. As áreas do Parque Nacional de Brasília (PNB), a Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE-DF), Jardim Botânico, Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília fazem parte da zona nuclear da Reserva

da Biosfera do Cerrado. A Estação Ecológica de Águas Emendadas foi inicialmente criada com área de 4.500 ha, sendo denominada Reserva Biológica e em 1998 foi recategorizada como sendo uma Estação Ecológica pelo Decreto n° 11.137 e teve sua área ampliada para os atuais 10.500 ha (Machado *et al.*, 1998)

Indubitavelmente, sabe-se que as técnicas de geoprocessamento junto com a análise espacial são importantes ferramentas para auxiliar o manejo das UCs, pois permitem identificar e monitorar as áreas que apresentam risco elevado de ocorrência de incêndios e queimadas, além de permitir o estabelecimento de diretrizes para o melhor manejo do fogo dentro dessas áreas (Lopes *et al.*, 2018). Dentre essas técnicas está a elaboração de mapas de zoneamento de risco de incêndios.

O zoneamento de risco de incêndio florestal é utilizado para facilitar a compreensão e prevenção dos incêndios florestais. Cabe ressaltar que ele apresenta baixo custo e uma boa eficiência visto que com ele é possível identificar os locais onde haverá maior probabilidade de ocorrer focos de calor, auxiliando na execução do plano de prevenção e de combate (Ribeiro *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2014). Além disso, conforme observam Torres *et al.* (2016), o zoneamento possibilita priorizar as regiões de maior risco e estruturar os serviços de combate a incêndios dentro de limites economicamente viáveis.

Atualmente existem diversas técnicas de geoprocessamento que permitem a elaboração do zoneamento de risco a incêndios florestais envolvendo métodos probabilísticos e métodos determinísticos como os métodos multicritérios (Jaafari *et al.*, 2019; Preisler *et al.*, 2004). Os métodos multicritérios possuem fácil aplicabilidade e levam em consideração principalmente os aspectos físicos diretos de ignição dos incêndios florestais (Aguar *et al.*, 2015).

A partir do contexto explicitado, o objetivo deste estudo é realizar um mapa de risco de incêndio florestal para a Estação Ecológica Águas Emendadas (ESECAE-DF), validando esse mapa com as cicatrizes de incêndios ocorridos entre 2011 e 2015 e verificando a existência de agrupamentos de zonas de risco à incêndios florestais.

Materiais e métodos

Localização da área de estudo

A Estação Ecológica Águas Emendadas (ESECAE-DF) pertence ao grupo de proteção integral segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Brasil, 2000). A UC está localizada em Planaltina, uma região administrativa do Distrito Federal (Brasil), com coordenadas 15°33'40"S e 47°36'00"W e que dista aproximadamente 50 km do centro de Brasília. A UC

abriga remanescentes importantes das fitofisionomias presentes no Cerrado, entre elas as formações campestres (Campos Limpo e Cerrado), cerrado *sensu stricto*, Matas de Galeria e Veredas (Ribeiro e Marinho-Filho, 2005). O clima segundo a classificação Köppen é do tipo tropical (Aw) e tropical de altitude (Cwa, Cwb), com inverno frio e seco (março a setembro) e verão quente e úmido (outubro a fevereiro). A altitude varia de 1000 a 1200 metros e a precipitação média anual varia de 1.200 a 1.750 mm (Costa *et al.*, 2015).

No presente estudo será considerada, além da área da UC, também a área de influência direta (AID) com um raio de 3 km do limite da UC que faz parte da zona tampão determinada pela Reserva da Biosfera do Cerrado (fig. 1).

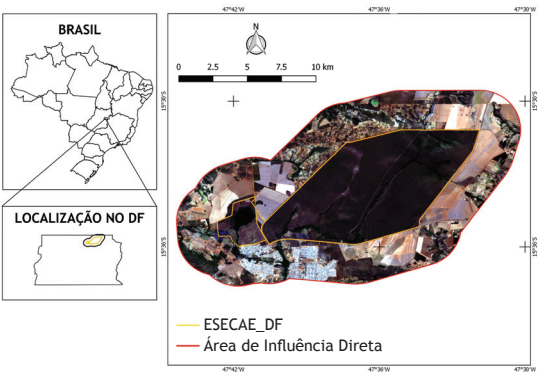


Fig. 1 - Localização da Estação Ecológica Águas Emendadas.
Fig. 1 - Location of Águas Emendadas Ecological Station.

Zoneamento de Risco de Incêndios

O zoneamento de Risco de Incêndios foi desenvolvido utilizando o método multicritério aditivo (Aguiar *et al.*, 2015). Para confecção do zoneamento foram utilizadas variáveis físicas associadas diretamente às fontes de ignição, ocorrência e propagação dos incêndios florestais. O processamento das informações foi realizado nos softwares ENVI 4.7 e QGIS 2.18.

As variáveis utilizadas no zoneamento foram: uso e ocupação do solo, estradas, declividade do terreno e orientação das encostas (Aguiar *et al.*, 2015; Neto *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2012). A variação altimétrica na área de estudo é considerada baixa não sendo, portanto, considerada na análise.

As classes dos fatores analisados foram padronizadas na escala de 0 a 10 pontos associados ao risco que oferecem para a ignição e propagação do fogo, sendo 0 (zero) para risco nulo e 10 (dez) para risco extremo (Aguiar *et al.*, 2015; Neto *et al.*, 2016). A seguir está disposto os bancos de dados utilizados assim como as fontes utilizadas (TABELA I).

TABELA I - Banco de dados utilizados para análise de susceptibilidade a incêndios.

TABLE I - Databank used to analyse susceptibility to fire.

Dados	Fonte
Uso e Ocupação do Solo (2016)	Imagem Landsat 8 sensor OLI ponto 221 órbita 71
Vias e Rodovias	SEGETH (2017)
Curvas de nível	SEGETH (2017)
Cicatrizes de Áreas Queimadas	INPE (2011 à 2015)

Uso e Cobertura do Solo

Para avaliar o risco de ocorrência de incêndios o conhecimento sobre o uso do solo é determinante. O uso do solo, assim como a topografia afetam a frequência, velocidade de propagação e tamanho das áreas queimadas (Torres *et al.*, 2017b). Os aspectos ecofisiológicos e dos materiais combustíveis atribuirá à cada classe de uso uma propensão maior ou menor aos incêndios (Prudente, 2010).

A imagem utilizada para a classificação do uso e cobertura do solo foi construída com a composição 6R, 5G e 4B Landsat 8 OLI para o ano de 2016. O pré-processamento foi realizado com os processos de correção atmosférica das imagens e teve por base o Princípio da Reflectância Zero (Barbosa *et al.*, 2019).

Também foi realizada a correção geométrica onde foram utilizados o modelo de transformação polinomial de primeiro grau e o método de interpolação do vizinho mais próximo. A primeira etapa deste processo foi a identificação e registro das coordenadas de pontos denominados de controle, e que são comuns às imagens digitais e às cartas planialtimétricas. As coordenadas reais foram padronizadas para o sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) e datum SIRGAS 2000 e os mapas confeccionados apresentam escala de 1: 250.000.

Para a interpretação das imagens foi utilizada a chave de interpretação das composições coloridas conforme Sano *et al.* (2010) que incluem a definição das características tonais, texturais e geométricas das classes de mapeamento presentes no bioma. A análise foi realizada no ENVI 4.7 por meio de classificação supervisionada com o algoritmo de máxima verossimilhança. A classificação supervisionada consiste na identificação prévia das classes de informação chamadas áreas de treinamento, que nada mais são do que representações do comportamento médio das classes que serão mapeadas automaticamente (Tangerino e Lourenço, 2013).

A descrição das cinco classes de uso do solo será descrita a seguir (TABELA II). Para essa análise não foi utilizada a classificação de solo exposto visto que na área há rotação de culturas, mas na época de aquisição da imagem os solos expostos observados foram derivados da ausência destas culturas.

TABELA II - Classificação do Uso do Solo.

TABLE II - Land use classification.

Tipo de Classe	Nome da Classe	Descrição
Antrópica	Agrícola	Uso do solo referente as atividades pecuárias e agrícolas
	Urbano	Uso do solo referente as atividades urbanas
	Reforestamento	Uso do solo referente as áreas de monoculturas de espécies florestais de pinus e eucalipto
Natural	Formação Campestre e Savânica	Uso do solo referente ás fitofisionomias de Campestres e Savânicas: Campo Sujo, Campo Rupestre, Campo Limpo, Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral/Buritizal e Vereda
	Formação Florestal	Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão
	Água	Corpos Hídricos

Proximidade com estradas

Inicialmente o mapa temático do sistema viário foi convertido para o formato *raster*, com células de 30 metros, e, posteriormente foi calculada a distância em metros das vias por meio da ferramenta de distância euclidiana. De forma geral, as áreas que circundam as rodovias foram consideradas mais susceptíveis ao fogo frente ao fluxo intenso de veículos que nelas transitam (Neto *et al.*, 2016).

Declividade

O mapa de declividade foi gerado a partir do plano de informações das curvas de nível de 5m do Distrito Federal. Posteriormente foi confeccionado o modelo digital de elevação por meio da técnica de interpolação *Triangulated Irregular Network* (TIN) (Dias, 2016) gerando um raster com células de 30 metros.

É importante destacar que o fogo tende a se propagar mais rapidamente em declives, assim, à medida que o grau de inclinação aumenta a velocidade de propagação também aumenta (Soares e Batista, 2007). Neste contexto, a declividade do terreno foi classificada conforme Santos *et al.* (2018) sendo as áreas com maior grau de declividade as que obtiveram maiores pontuações.

Aspecto

O aspecto é determinado pela orientação da encosta em que o terreno está localizado, ou seja, o mapa de aspecto representa a inclinação das vertentes sendo classificadas em setores de acordo com os pontos cardeais. O mapa de aspecto foi gerado a partir do modelo digital de elevação.

No hemisfério sul, as faces orientadas ao norte são as que mais recebem incidência de raios solares gerando uma maior suscetibilidade ao fogo. Não obstante o aspecto é um parâmetro indireto do conteúdo de umidade do material combustível devido à insolação, influenciando a propagação dos incêndios florestais (Prudente, 2010).

Algoritmo de classificação de Risco de Incêndios

O algoritmo utilizado para a produção do mapa de zoneamento de riscos a incêndios florestais pode ser visualizado na equação 1 e ele deriva do algoritmo proposto por Neto *et al.* (2016) (equação 1):

$$RI = (AS * 0,2) + (USO * 0,3) + (SLP * 0,2) + (URB * 0,3) \quad \text{Equ. 1}$$

Onde RI é a classe de Risco de Incêndio; AS é o risco de incêndio associado ao aspecto; USO = é o risco de incêndio associado ao uso e cobertura do solo; SLP = é o risco de incêndio associado à declividade do terreno; URB = é o risco de incêndio associado à proximidade de vias e áreas urbanas.

A seguir está disposta a distribuição dos pesos e dos valores atribuídos aos fatores que influenciam a ocorrência de incêndios (TABELA III). Para a análise, as áreas dos corpos hídricos foram suprimidos dos planos de informação.

Como resultado as áreas foram classificadas em 5 classes (TABELA IV). Essas classes obedeceram a pontuação obtida pela aplicação da equação 1 e indicarão a graduação de risco de incêndios.

Ressalta-se que a metodologia proposta foi validada por meio da sobreposição das cicatrizes de áreas queimadas do ano 2011 a 2015 observadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com o zoneamento elaborado para área.

Análise de Autocorrelação Espacial do Risco de Incêndios Florestais

De uma forma geral, as variáveis ecológicas apresentam autocorrelação espacial (Legendre, 1993). Sendo assim, para avaliar estatisticamente a dependência espacial relativo ao risco de incêndios florestais foram utilizados os Índice Global de Moran e o Índice Local de Moran (Moran, 1948).

TABELA III - Distribuição de pesos e influências para análise de susceptibilidade a incêndios.

TABLE III - Distribution of weights and influences for the fire susceptibility analysis.

Fatores	Classe	Peso (P)	Valores Atribuídos (N)
Aspecto	SE/S/SW	0,2	2
	E		4
	NE		6
	NW/W		8
	N		10
Uso do solo	Água	0,3	0
	Formações Savânicas e Campestres		6
	Urbano		6
	Formações Florestais		4
	Reflorestamento		6
	Agricultura		10
Declividade	0°-3°	0,2	2
	3°-8 °		4
	8 ° -20 °		6
	20 ° -45 °		8
	>45 °		10
Distância de vias e urbano	100 m	0,3	10
	500 m		8
	1000 m		6
	3000 m		4
	>3000 m		2

Fonte/Source: Aguiar *et al.*, 2015; Neto *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2012.

TABELA IV - Classificação do risco de incêndio.

TABLE IV - Fire risk classification.

Pontuação	Classificação
0-2	Baixo
2-4	Médio
4-6	Alto
6-8	Muito Alto
8-10	Extremo

Inicialmente o plano de informações do risco de incêndios florestais em formato *raster* foi vetorizado para o formato *shape* sem que ocorresse a suavização dos polígonos, preservando assim o formato original do *raster*. Essa vetorização teve como objetivo discretizar a variável risco de incêndios florestais para a realização da análise estatística. Posteriormente foi criada uma malha regular com tamanho da célula do mapa de risco à incêndios florestais (30m X 30m) e atribuída à essa célula o valor do risco de incêndios florestais.

Com o mapa de risco à incêndios florestais discretizado em malhas regulares a análise espacial das áreas foi realizada no software Geoda 1.8. A matriz de proximidade espacial foi elaborada com base no critério de vizinhança *Queen* (Gaither *et al.*, 2011) que considera como vizinhas as unidades que possuem fronteiras ou vértices comuns, em que a unidade vizinha é definida da forma $w_{ij} = 1$, enquanto o elemento que não possui relação de vizinhança é definido $w_{ij} = 0$ (Anselin, 2004).

A partir da matriz de proximidade espacial foram calculados o Índice Global de Moran e o Índice Local de Moran. O Índice Global de Moran avalia o nível de interdependência espacial entre todos os polígonos e é obtido pela equação 2:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_i z_j w_{ij}}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad \text{Equ. 2}$$

Onde n é o número de polígonos; $z_i = (x_i - \bar{x})$ e $z_j = (x_j - \bar{x})$ para $i \neq j = 1, \dots, n$ valores observados das populações i e j centradas na média da variável x em estudo; w_{ij} é o elemento da matriz de proximidade W_{ij} , e S_0 é definida pela equação 3.

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad \text{Equ. 3}$$

O índice Global de Moran varia entre $[-1,1]$, sendo que valores próximos a -1 indicam correlação espacial negativa, valores próximos a 1 indicam correlação espacial positiva e valor igual a 0 indica ausência de correlação espacial ou independência espacial com relação à variável testada (Albuquerque *et al.*, 2017).

O Índice Local de Moran também denominado Índice Local de Associação Espacial (LISA) determina a dependência local dos dados com relação à seus vizinhos. Este índice permite identificar padrões de agrupamentos de hotspot e coldspot (Yang e Wong, 2013). O índice classifica os agrupamentos em Alto-Alto que denotam associação positiva entre as duas regiões vizinhas; Baixo-Baixo para associação negativa; Alto-Baixo e Baixo-Alto para áreas que apresentarem associação de valores inversos entre as regiões vizinhas. A estatística LISA, é especificada pela equação 4:

$$LISA = \frac{x_i - \mu}{\sigma_0^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \mu), \quad i=1, \dots, n \quad \text{Equ. 4}$$

Onde σ_0^2 é a variância populacional da variável em estudo dos n polígonos, x_i - observação do risco de incêndios florestais, i para $i=1, \dots, n$ e μ - média dos n polígonos da malha regular.

A validade estatística dos Índices de Moran Global e Local, foi analisada pelo z-score e pelo teste de pseudo-significância (Câmara *et al.*, 2004).

No presente estudo também foi utilizado o teste de pseudo-significância gerando 999 permutações dos valores de atributos associados e o nível de significância de 95% (Hu *et al.*, 2019).

Resultados e Discussão

Uso e Ocupação do Solo

Foi constatado que o uso preponderante do solo da área estudada é a de vegetação nativa, ocupando cerca de 58% da área. E a grande presença desta vegetação nativa se dá principalmente pela presença e pelo bom estado de preservação da Unidade de Conservação. A segunda maior classe de uso do solo observado foi o uso agrícola ocupando cerca de 34% da área (fig. 2). Neste sentido cabe um destaque, pois de acordo com Costa *et al.* (2015) 42% dos produtores que moram nas circunvizinhança da ESECAE-DF fazem uso do fogo com fins agropastoris sendo que a maioria realiza a prevenção contra os incêndios florestais, no entanto esses agricultores, não receberam qualquer tipo de orientação para a prevenção ou a realização de queimadas controladas.

Para Schmidt *et al.* (2016) o uso do fogo nessas áreas de agricultura tem a função de “limpar” e/ou aumentar a disponibilidade imediata de nutrientes em áreas de agricultura, estimular a rebrota de gramíneas para pastejo pelo gado e melhorar o acesso a áreas e recursos.

É importante ressaltar que foi observado apenas 4% da área de vegetação nativa como Formações Florestais, sendo o restante composto por Campos e Cerrado Sentido Restrito.

Nas áreas de Formação Florestal há uma menor probabilidade de incidência de incêndios nessas áreas, por serem formadas por veredas e matas de galeria, que são fitofisionomias associadas à presença constante de água (Borges *et al.*, 2016). Portanto, é possível observar

que as áreas menos propensas aos incêndios florestais no interior da ESECAE-DF correspondem à uma pequena fatia da área total.

Por outro lado a baixa densidade florestal, nas formações campestres e savânicas, propicia a circulação do ar facilitando e contribuindo para acelerar a secagem do material combustível. Conforme Ribeiro and Walter (2008) as formações campestres são compostas por áreas com predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, com poucas árvores formando paisagens abertas. Dessa forma, uma vez que a vegetação das áreas de campos é composta por gramíneas, durante a época de estiagem sazonal típica do Cerrado há a formação de um grande volume de biomassa oriunda de material combustível (Oliveira-Filho e Fluminhan-Filho, 2015).

Dessa forma, com excessão das áreas de Formações Florestais e das áreas dos corpos hídricos, as demais áreas da Unidade de Conservação e sua AID, ou seja, mais de 90% da área possuem um alto potencial de suscetibilidade aos incêndios florestais.

Proximidade com estradas

A presença de conglomerados urbanos e a baixa distância em relação às vias faz da AID a área mais propícia a incêndios. Avaliando a área total, cerca de 34% da área de estudo está localizada há menos de 500 metros das vias e de áreas urbanas e 21% está há menos de 100 metros (fig.3). Considerando apenas esse aspecto de risco, mais da metade da área encontra-se suscetível à incêndios florestais.

Importantes rodovias federais (BR-010 e BR-030) e estaduais (DF-205 e DF-128) delimitam a área da UC. Esta prática de utilização de rodovias para delimitação de áreas preservadas facilita a demarcação porém é bastante nociva ao tráfego da fauna e também aumenta a propensão de incêndios florestais (Molina *et al.*, 2019). Dessa forma, a proximidade com essas vias aumenta consideravelmente o risco de ocorrência de incêndios florestais.

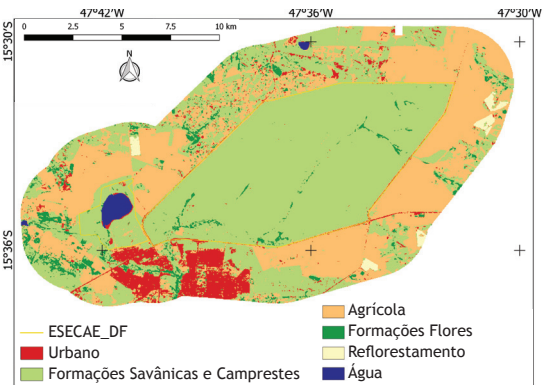


Fig. 2 - Mapa de uso do solo.

Fig. 2 - Land use map.

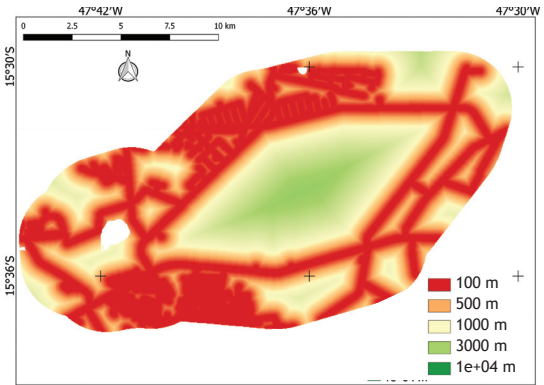


Fig. 3 - Mapa de distância em relação às vias, rodovias e áreas urbanas.

Fig. 3 - Distance map of roads, highways, and urban areas.

Uma vez que proximidade com vias e rodovias aumenta o risco à incêndios é sugerido um planejamento das margens de estradas secundárias que fazem fronteira com áreas de campos e de pastagem, de forma a proporcionar uma diminuição do volume disponível de material combustível (Ganteaume e Jappiot, 2013).

Declividade

Considerando apenas o fator declividade observa-se que a área de estudo não possui grandes declives devido à baixa variação hipsométrica (fig.4). Para Silveira *et al.* (2008) a declividade é um dos principais fatores associados ao risco de incêndios no Cerrado, dessa forma, como a área de estudo possui baixa declividade há um atenuante nos fatores de risco. É importante observar que 88% da área de estudo possui declividade de até 8°, sendo 41% das áreas entre 0-3° e 47% entre 3-8°.

Essa baixa variação reduz os riscos de incêndios, visto que em encostas mais íngremes há baixa infiltração de água da chuva e geralmente possuem maior quantidade de biomassa seca (Torres *et al.*, 2016). Somando-se a isso, em áreas declivosas o vento é um dos principais fatores que influenciam a taxa de combustão e dispersão do fogo, pois além de afetar o índice de suprimento de oxigênio durante a queima, a secagem do combustível é acelerada pela remoção da camada de ar em contato com sua superfície, provocando a inclinação das chamas e aproximando-as do material ainda não queimado (Torres e Machado, 2008). As áreas mais declivosas encontram-se nas bordas da área estudada. Levando em consideração isso e que o uso do solo é predominantemente agrícola, observa-se que o potencial de risco à incêndios aumenta.

Aspecto

A ESECAE-DF possui 48% de seu território com alta exposição solar, o que implica em maiores riscos de

incêndios (fig. 5). A alta exposição à radiação solar facilita a ignição espontânea de matéria orgânica seca. Durante o período de estiagem, o sol culmina no zênite ao norte da ESECAE-DF. Dessa forma há uma elevação da temperatura nas vertentes de orientação norte, influenciando diretamente as características físicas do material combustível e ocorrências de incêndios (Torres *et al.*, 2018). Além disso, no Cerrado há uma forte relação entre a insolação e a ocorrência de incêndios florestais, sendo que no período de estiagem ocorre um aumento da insolação (Torres *et al.*, 2010).

Associado ao aumento da insolação o longo período de estiagem também é um dos principais fatores que influenciam a probabilidade de ignição de incêndios no Cerrado, pois devido à estiagem há um aumento da quantidade de biomassa seca disponível para ignição de incêndios (Alvarado *et al.*, 2017). Para Ribeiro *et al.* (2018) os fortes períodos de estiagem associados às mudanças climáticas são responsáveis por aumentar a queima de biomassa no Brasil.

Zoneamento de Risco de Incêndios

Foi evidenciado que mais de 60% da área de estudo é classificada em zonas de Alto ou Muito Alto risco à incêndios florestais. Sendo que as zonas de risco Médio ocupam 39,81% da área de estudo, as zonas de Alto Risco ocupam 13,38% da área e 46,08% estão classificadas como as zonas de Muito Alto Risco.

O zoneamento das áreas da UC de acordo com o risco de incêndios, mostra que as áreas próximas às rodovias e zonas urbanas e onde o uso do solo é destinado a agricultura são as mais propícias à ocorrência de incêndios (fig. 6). Os resultados encontrados corroboram com os resultados de Torres *et al.* (2018) e Gobbo *et al.* (2016) que observaram que as maiores áreas queimadas encontravam-se próximas a vias de acesso como trilhas e estradas

É importante destacar que a classe de uso do solo Agrícola foi o fator que mais influenciou para a elevação

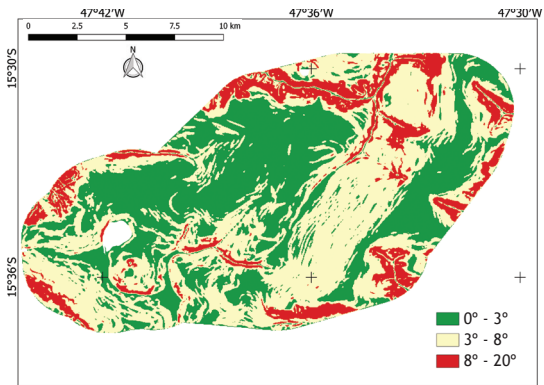


Fig. 4 - Mapa de declividade.
Fig. 4 - Slope map.

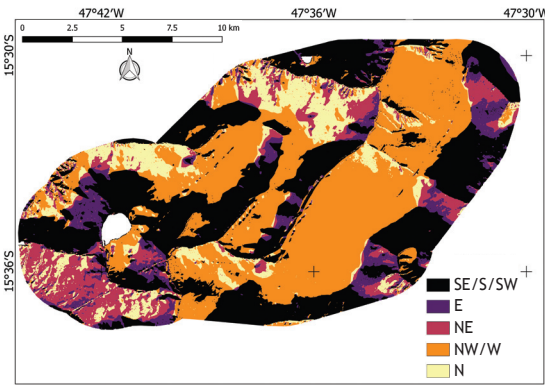


Fig. 5 - Mapa de exposições.
Fig. 5 - Aspect map.

do risco de incêndios na AID. No Distrito Federal, o uso do fogo como modo de preparo da terra ainda é bastante presente na agricultura (Rodrigues *et al.*, 2016). Costa *et al.* (2009) observou que 34% da população que habita as adjacências da ESECAE-DF utiliza essa técnica para limpeza do terreno.

No entanto Sampaio *et al.* (2016) alertam que somente a exclusão da aplicação dessa técnica não é suficiente, pois tende a marginalizar a agricultura familiar, sendo necessário negociar objetivos de manejo entre diferentes atores atuantes do território. Schmidt *et al.* (2016) ressalta que para um bom manejo do fogo no Cerrado é necessário entender a percepções das comunidades locais sobre os efeitos dos diferentes tipos de fogo, ou seja, para que haja uma boa relação da população agrícola da AID com a gestão da UC é necessário um planejamento integrado de forma a evitar que essas práticas venham a atingir e prejudicar UC.

As zonas próximas às vias e áreas urbanizadas foram as que apresentaram alto risco de incêndios florestais corroborando assim com o estudo de Bacani (2016). No zoneamento observa-se que a grande quantidade de áreas próximas às rodovias possuem zonas classificadas como Muito Alto Risco. De acordo com Cipriani *et al.* (2011), as rodovias, servem de acesso aos indivíduos que, intencionalmente ou não, podem iniciar o processo de ignição do material combustível, além de promoverem o acúmulo de material combustível em suas margens (Ribeiro *et al.*, 2012).

No processo de validação, foi verificado que 63% das áreas de cicatrizes de incêndios estão localizadas nas zonas classificadas com risco Alto e Muito Alto e 37% estão em áreas classificadas com risco Médio (fig. 7). Não houve cicatriz de incêndios em áreas classificadas como de baixo risco.

Observou-se também que 80% das cicatrizes de incêndios estão localizadas sobre área com uso de

formações Savânicas ou campestres o que evidencia a alta susceptibilidade desse tipo de vegetação. No entanto, nesse tipo de fitofisionomia o fogo pode eliminar muitos indivíduos, podendo ocasionar processos de savanização (Liesenfeld *et al.*, 2016). Já as formações florestais ocuparam somente 1% das cicatrizes de incêndios.

Em relação à orientação das vertentes, 44% das áreas de cicatrizes das queimadas estavam nas orientações SE/S/SW e 30 % nas orientações NW/W evidenciando uma equidade quanto a esse fator. Essa equidade pode ter origem na direção dos ventos. Durante o período de estiagem além da alta insolação e de altas temperaturas do ar, também há a presença de ventos fortes (Souza e Vale, 2019). De acordo com o Instituto Nacional de Metrologia - (INMET, 2019) durante o período de estiagem entre os anos 2011 e 2015 houve predominância de ventos com direção sudeste e leste. Dessa forma esses ventos ao encontrarem encostas com a mesma direção eles aceleram a propagação do fogo, visto que o mesmo tende a elevar as chamas das partes inferiores para as superiores (Torres *et al.*, 2016). Portanto, para avaliações futuras é recomendada a inserção também de fatores relacionados à direção dos ventos no intuito de aperfeiçoar a análise do modelo.

No tocante a proximidade de vias e áreas urbanas, observou-se que 52% das áreas das cicatrizes de incêndios estavam localizadas até 500 m de distância. Além disso, as maiores cicatrizes de incêndios estão em áreas com menos de 100 metros das áreas urbanizadas. Esse resultado corrobora com o estudo de Costa *et al.* (2009) que apontaram que na ESECAE-DF as áreas mais propensas à ocorrência de incêndios florestais encontravam-se nas margens de rodovias e estradas vicinais.

Em relação à declividade, 51% das cicatrizes estavam em áreas com até 3° de declividade e 41% estavam em áreas com até 8°. No entanto, conforme evidenciado na fig. 4

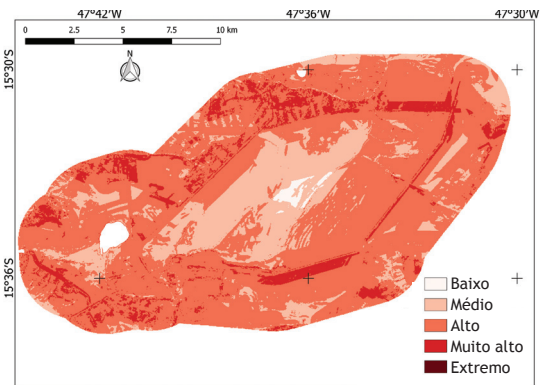


Fig. 6 - Mapa do zoneamento de risco de incêndios.
Fig. 6 - Fire risk zoning map.

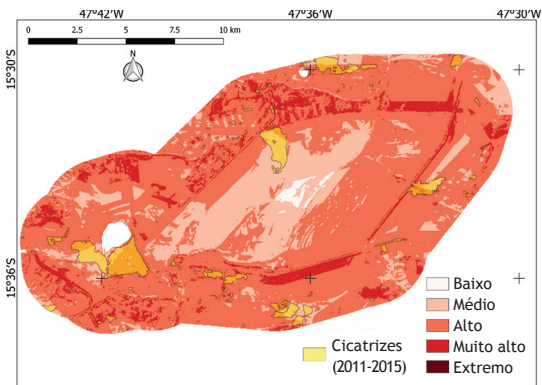


Fig. 7 - Mapa do zoneamento do risco de incêndios e cicatrizes de áreas queimadas.
Fig. 7 - Fire risk zoning map and scars of burned areas.

existem poucas áreas com altas declividades na área de estudo, portanto, nessas áreas a influência dos demais fatores analisados podem ter sido mais significativos.

Almeida *et al.* (2018) obteve a partir de entrevistas com o batalhão de polícia militar ambiental localizado na UC, que a ausência de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e também de equipamentos de combate à incêndios em situações que exigem alguma ação prévia de contenção antes da efetiva chegada da brigada do Corpo de Bombeiros, são fatores que impedem a maior eficiência dos combates. Costa *et al.* (2009) também observaram que há uma insuficiência de equipamentos de proteção individual além de que a ESECAE-DF não dispõe de máquinas para manutenção das estradas e aceiros. Como forma de combater os incêndios florestais White *et al.* (2016) sugere a alocação de materiais e equipamentos de combate próximas às áreas de maior risco, construção de torres de vigilância; definição de áreas para a construção de aceiros e, o controle do material combustível.

Autocorrelação Espacial do Risco de Incêndios Florestais

Foram obtidas uma malha regular com 295.829 polígonos e uma matriz espacial gerada a partir do critério Queen que apresentou em média 7,98 vizinhos para cada polígono. O Índice Global de Moran obtido foi 0,830 e após as 999 permutações foram obtidos um pseudo p-value de 0,001 e o z-score de 912.08 que indica que esses agrupamentos são estatisticamente significativos.

Abaixo é possível observar a espacialidade dos agrupamento dos polígonos e sua vizinhança (fig.8). Os aglomerados Alto-Alto são formados por áreas com alto risco de incêndios florestais e vizinhos com valores igualmente altos (*hotspots*). Por sua vez os aglomerados Baixo-Baixo denotam áreas com baixo risco de incêndios florestais e vizinhos com valores igualmente baixos (*coldspots*). De acordo com a análise do Índice Local de

Associação Espacial, cerca de 19% da área do estudo apresenta aglomerados do tipo Baixo-Baixo e 13% da área possui aglomerados de áreas de alto risco (Alto-Alto).

Os agrupamentos Alto-Alto estão predominantemente dentro da AID, corroborando com os resultados de Chas-Amil *et al.* (2013) em que o arranjo espacial antrópico influenciou zonas com maior ocorrência de incêndios florestais na Galícia, evidenciando que tais áreas devem ser priorizadas nos programas de prevenção a incêndios florestais. Dentre as áreas classificadas como Alto-Alto, 59% estão em áreas há menos de 500 metros de distâncias de vias e rodovias estaduais, e nessas áreas 20% estavam em áreas com declividade acima de 20°, 67% estavam orientadas para as direções N, NW e W e 42% em áreas agrícolas.

Assim como observado por Platt (2014) o risco de incêndios florestais em áreas de interfaces de áreas de vegetação nativa e infraestrutura urbana apresentaram grandes aglomerados do tipo Alto-Alto nas proximidades das vias, rodovias e áreas urbanas. Resultados similares foram obtidos por Gobbo *et al.* (2016) que observou que as áreas do entorno do Parque Nacional - Caparaó foram as mais afetadas por incêndios florestais em especial aquelas com uso agropecuário e próximas às rodovias.

Outro importante resultado foi que o maior aglomerado Alto-alto está localizado na porção norte da AID, nessa região vem ocorrendo a conversão do uso do solo das regiões rurais para adensamentos urbanos e condomínios irregulares (Padovesi-Fonseca *et al.*, 2010). As áreas urbanas no interior da AID possuem uma renda média *per capita* de US\$238,51 e baixo índice de escolaridade (CODEPLAN, 2018). A combinação de áreas de risco de incêndios florestais e presença de comunidades com vulnerabilidade social contribuem para aumentar a ocorrência de incêndios florestais e sua intensidade Gaither *et al.* (2011). Em Portugal Oliveira *et al.* (2019) observou que nas zonas de interface de vegetação nativa e áreas urbanas há falta de conhecimento a respeito das zonas de risco de incêndios florestais, sendo semelhante ao resultado encontrado por Costa *et al.* (2009) nas intermediações da ESECAE-DF.

Nas áreas com aglomerados Baixo-Baixo, cerca de 66% está há mais de 3000 metros de distância de vias e áreas urbanas, ressaltando a influência desse fator no risco à incêndios florestais. Além disso, 89% das áreas de aglomerados Baixo-Baixo estão em terrenos com até 8° de declividade o que minimiza a propensão à ocorrência de incêndios florestais. Em 74% de tais áreas o uso do solo é de formações Savânicas e Campestres. Nas áreas de formações Savânicas e Campestres somente 7 % está há menos de 500 metros das vias, indicando que para esse tipo de uso a proximidade com vias e áreas urbanas é nociva e que os fatores físicos como aspecto e declividade atenuaram a pontuação de risco de incêndios florestais.

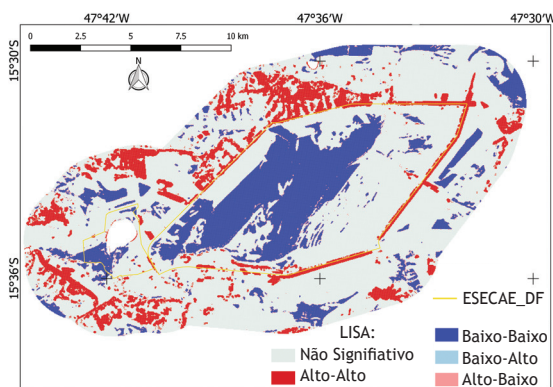


Fig. 8 - Índice local de associação espacial evidenciando as áreas de *hotspots* e *coldspots* de risco de incêndios florestais.

Fig. 8 - Local index of spatial association highlighting hotspot and coldspot forest fire risk areas.

Conclusão

A partir do estudo pode ser constatado que o modelo desenvolvido contribuiu para apontar que as zonas classificadas como de risco 'Alto' representam 71% de toda a área estudada. Dessa forma, a elaboração de um plano de prevenção à incêndios florestais na UC é fundamental para preservar tanto os atributos ecológicos da área do estudo quanto em relação à integridade física das comunidades que estão inseridas na Área de Influência Direta.

As formações Savânicas e Campestres foram as que mais apresentaram susceptibilidade à incêndios florestais, principalmente quando associadas a fatores físicos como alta declividade e orientação das vertentes. No caso específico da ESECAE-DF foi constatada que a orientação das vertentes aumenta a probabilidade de ocorrência dos incêndios florestais devido à forte influência dos ventos no período de estiagem. Os ventos aceleram a secagem do material combustível, aumentando o suprimento de oxigênio, transportando materiais acesos ou aquecidos e inclinando as chamas dos focos de incêndios para áreas ainda não queimadas das encostas.

No entanto é importante destacar que o modelo testado não aferiu a influência direta dos ventos na ocorrência de incêndios e por isso se sugere a inclusão de uma variável de mensuração direta em análises futuras. No entanto, mesmo sem considerar a variável 'vento' de forma direta, o processo de validação mostrou que o zoneamento é imprescindível uma vez que as cicatrizes de incêndios florestais estavam localizadas em zonas de médio a muito alto risco de incêndios.

Também se pode concluir que os aglomerados de zonas com maiores susceptibilidade a incêndios (hotspots) estão localizados nas áreas de interface de vegetação nativa e áreas urbanas que integram a Área de Influência Direta da U.C. No entanto, por se tratar de uma área com vulnerabilidade social e econômica associada ao risco de incêndios florestais as ações de educação ambiental são fundamentais para a prevenção. Já as áreas de coldspots estão localizadas majoritariamente no interior da UC em áreas com menor influência de atividades humanas e com aspectos físicos desfavoráveis à ocorrência de incêndios florestais.

Finalmente pode-se concluir que o zoneamento de risco à incêndios florestais pode auxiliar a alocação dos recursos necessários ao combate a incêndios florestais e tornar o processo de controle mais satisfatório e menos danoso.

Referências bibliográficas

- Aguiar, R. D., Santos, L. d. M., Matricardi, E., e Batista, I. (2015). Zoneamento de risco de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros-GO. *Enciclopédia da Biosfera*, 11(21), 1943-1957.
- Albuquerque, P. H. M., Medina, F. A. S., e da Silva, A. R. (2017). Regressão Logística Geograficamente Ponderada Aplicada a Modelos de Credit Scoring. *Revista Contabilidade & Finanças*, 28(73), 93-112.
- Almeida, A. N. d., Andrade, B. G. d., Soares, P. R. C., e Angelo, H. (2018). Segurança ambiental na Estação Ecológica de Águas Emendadas no Distrito Federal. *Ciência Florestal*, 28, 1381-1393.
DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509835047>
- Alvarado, S. T., Fornazari, T., Cóstola, A., Morellato, L. P. C., e Silva, T. S. F. (2017). Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. *Ecological Indicators*, 78, 270-281.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.037>
- Anselin, L. (2004). Exploring spatial data with GeoDaTM: a workbook. *Urbana*, 51(61801), 309.
- Aximoff, I., e Rodrigues, R. d. C. (2011). Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. *Ciência Florestal*, 21, 83-92.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050982750>
- 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: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000600005>
- Barbosa, C. C. F., de Moraes Novo, E. M. L., e Martins, V. S. (2019). *Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações* (Vol. 1): Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Borges, S. L., Eloy, L., Schmidt, I. B., Barradas, A. C. S., e Santos, I. A. D. (2016). Fire Management in Veredas (Palm Swamps): New perspectives on traditional farming systems in Jalapão, Brazil. *Ambiente & Sociedade*, 19, 269-294. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422ASOC20150020R1V1932016>
- Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (2000).
- Câmara, G., Carvalho, M. S., Cruz, O. G., e Correa, V. (2004). *Análise espacial de áreas. Análise espacial de dados geográficos*, 2.
- Chas-Amil, M. L., Touza, J., e García-Martínez, E. (2013). Forest fires in the wildland-urban interface: A spatial analysis of forest fragmentation and human impacts. *Applied Geography*, 43, 127-137.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.06.010>

- Cipriani, H. N., Pereira, J. A. A., Silva, R. A., Freitas, S. G. d., e Oliveira, L. T. d. (2011). Fire risk map for the Serra de São Domingos Municipal Park, Poços de Caldas, MG. *CERNE*, 17, 77-83.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602011000100009>
- CODEPLAN (2018). *Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios do Distrito Federal-PDAD-DF-2018*. Retrieved 01 de julho de 2019, from <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/03/Brazil%C3%A2ndia.pdf>
- Costa, E. P., Fiedler, N. C., Medeiros, M. B., e Wanderley, F. B. (2009). Incêndios florestais no entorno de unidades de conservação - estudo de caso na Estação Ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal. *Ciência Florestal*, 19, 195-206.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/19805098410>
- Costa, E. P., Fiedler, N. C., Medeiros, M. B. d., e Leite, Â. M. P. (2015). *Diagnostic of fire used by rural producers near Águas Emendadas Ecological Station (ESECAE) in Distrito Federal*. . *CERNE*; vol 13, n.º 5 (2007) - Suplemento.
- Dias, E. R. (2016). Geração de Modelo Digital de Elevação utilizando dados do SRTM como subsídio ao planejamento e gestão territorial do município de Lucena (PB). *Caderno de Geografia*, 26(45), 151-159.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26n45p151>
- Durigan, G., e Ratter, J. A. (2016). The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. *Journal of Applied Ecology*, 53(1), 11-15.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.12559>
- Gaither, C. J., Poudyal, N. C., Goodrick, S., Bowker, J. M., Malone, S., e Gan, J. (2011). Wildland fire risk and social vulnerability in the Southeastern United States: An exploratory spatial data analysis approach. *Forest Policy and Economics*, 13(1), 24-36.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2010.07.009>
- Ganteaume, A., e Jappiot, M. (2013). What causes large fires in Southern France. *Forest Ecology and Management*, 294, 76-85.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.055>
- Gobbo, S. D. a. A., Garcia, R. F., Amaral, A. A. d., Eugenio, F. C., Alvarez, C. R. d. S., e Laporti Luppi, A. S. (2016). Uso da Terra no Entorno do PARNA-Caparaó: Preocupação com Incêndios Florestais. *Floresta e Ambiente*, 23, 350-361.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.110114>
- Hu, M., Li, Z., Yuan, M., Fan, C., e Xia, B. (2019). Spatial differentiation of ecological security and differentiated management of ecological conservation in the Pearl River Delta, China. *Ecological Indicators*, 104, 439-448.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.081>
- INMET (2019). *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. Retrieved 09 de agosto de 2019.
- Jaafari, A., Zenner, E. K., Panahi, M., e Shahabi, H. (2019). Hybrid artificial intelligence models based on a neuro-fuzzy system and metaheuristic optimization algorithms for spatial prediction of wildfire probability. *Agricultural and Forest Meteorology*, 266-267, 198-207.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.12.015>
- Klink, C.A., e Machado, R. B. (2005). Conservation of the Brazilian cerrado. *Conservation biology*, 19(3), 707-713.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>
- Lacey, C. J., Walker, J., e Noble, I. R. (1982). *Fire in Australian Tropical Savannas*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Legendre, P. (1993). Spatial Autocorrelation: Trouble or New Paradigm? *Ecology*, 74(6), 1659-1673.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1939924>
- Lemes, G. P., Matricardi, E. A. T., Costa, O. B., e Leal, F. A. (2014). Avaliação espaço-temporal dos incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra no período de 1991 a 2011. *Ambiência*, 10(Sup), 247-266.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/ambiencia.2014.supl.03>
- Liesenfeld, M. V. A., Vieira, G., e de Andrade Miranda, I. P. (2016). Ecologia do fogo e o impacto na vegetação da Amazônia. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 36(88), 505-517.
DOI: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1222>
- Lopes, E. R. d. N., Silva, A. P. P., Peruchi, J. F., e Lourenço, R. W. (2018). Zoneamento de Risco de Incêndio e Queimadas na Cidade de Sorocaba-São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia*, 36, 117-129.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v36i0.148048>
- Machado, R., Aguiar, L., Bianchi, C., Vianna, R., Santos, A., Saito, C., e Timmers, J. (1998). Áreas de risco no entorno de Unidades de Conservação: estudo de caso da Estação Ecológica de Águas Emendadas, Planaltina, DF. *Vertebrados da Estação Ecológica de Águas Emendadas* (J Marinho-Filho, FHG Rodrigues, and MM Guimarães, eds.). SEMATEC/IEMA, Brasília, DF, 64-75.
- Medeiros, M. B. (2002). Manejo do Fogo em unidades de conservação do Cerrado. *Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer*, 10(1), 76-89.
- Molina, J. R., Lora, A., Prades, C., e Rodríguez y Silva, F. (2019). Roadside vegetation planning and conservation: New approach to prevent and mitigate wildfires based on fire ignition potential. *Forest Ecology and Management*, 444, 163-173.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.034>

- Moran, P. A. (1948). The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 10(2), 243-251.
- Moreira de Araújo, F., Ferreira, L. G., e Arantes, A. E. (2012). Distribution Patterns of Burned Areas in the Brazilian Biomes: An Analysis Based on Satellite Data for the 2002-2010 Period. *Remote Sensing*, 4(7). DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs4071929>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., e Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/35002501>
- Neto, G. B. S., Bayma, A. P., de Faria, K. M. S., de Oliveira, E. G., e Menezes, P. H. B. J. (2016). Riscos de incêndios florestais no parque nacional de Brasília. *Brasil. Territorium*(23), 161-170. DOI: <http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723>
- Neves, L. F. d. S., Marimon, B. S., Anderson, L. O., eda Silva Neves, S. M. A. (2018). Dinâmica de fogo no Parque Estadual do Araguaia, zona de transição Amazônia-Cerrado. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, 44, 85-103. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.47926>
- Oliveira-Filho, A. T., e Fluminhan-Filho, M. (2015). Vegetation ecology of the Parque Florestal Quedas do Rio Bonito, Brazil. *CERNE*, 5(2), 051-064.
- Oliveira, R., Oliveira, S., Zêzere, J. L., e Viegas, D. X. (2019). Uncovering the perception regarding wildfires of residents with different characteristics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101370>
- Padovesi-Fonseca, C., Gomes Corrêa, A. C., Figueiredo Marques Leite, G., Joveli, J. C., Soares Costa, L., e Toledo Pereira, S. (2010). Diagnóstico da sub-bacia do ribeirão Mestre d'Armas por meio de dois métodos de avaliação ambiental rápida, Distrito Federal, Brasil Central. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 5(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.118>
- Platt, R. V. (2014). Wildfire hazard in the home ignition zone: An object-oriented analysis integrating LiDAR and VHR satellite imagery. *Applied Geography*, 51, 108-117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.03.011>
- Preisler, H. K., Brillinger, D. R., Burgan, R. E., e Benoit, J. W. (2004). Probability based models for estimation of wildfire risk. *International Journal of Wildland Fire*, 13(2), 133-142. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/wf02061>
- Prudente, T. D. (2010). *Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no parque nacional da chapada dos veadeiros e área de entorno*. (Dissertação de Mestrado em Geografia)-Programa de Pós-Graduação em Geografia, 116 f.
- Ramos, R. M., Fonseca, R. L., e Morello, T. F. (2016). Unidades de conservação e proteção contra incêndios florestais: relação entre focos de calor e ações articuladas pelas brigadas contratadas. *Biodiversidade Brasileira*, 6(2), 135-148.
- Ribeiro, I. O., Andreoli, R. V., Kayano, M. T., Sousa, T. R., Medeiros, A. S., Godoi, R. H. M., . . . Souza, R. A. F. (2018). Biomass burning and carbon monoxide patterns in Brazil during the extreme drought years of 2005, 2010, and 2015. *Environmental Pollution*, 243, 1008-1014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.022>
- Ribeiro, J. F., e Walter, B. M. T. (2008). As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. *Cerrado: ecologia e flora*, 1, 151-212.
- Ribeiro, L., Soares, R. V., e Beppler, M. (2012). Mapeamento do risco de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Mato Grosso, Brasil. *CERNE*, 18, 117-126. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000100014>
- Ribeiro, R., e Marinho-Filho, J. (2005). Estrutura da comunidade de pequenos mamíferos (Mammalia, Rodentia) da Estação Ecológica de Águas Emendadas, Planaltina, Distrito Federal, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 22, 898-907. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-81752005000400014>
- Rodrigues, M. F., de Castro Rocha, F. E., Dalla Corte, J. L., Salviati, M. E., e Oliveira-Filho, E. C. (2016). Aspectos Motivacionais para o Uso do Fogo na Agricultura no Distrito Federal e Entorno. *Embrapa Cerrados-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTEC-A-E)*.
- Sampaio, A. B., Berlinck, C. N., Miranda, H. S., Schmidt, I. B., e Ribeiro, K. T. (2016). Manejo do fogo em áreas protegidas. *Biodiversidade Brasileira*, 6(2), 1-3.
- Sano, E. E., Rosa, R., Brito, J. L. S., e Ferreira, L. G. (2010). Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental monitoring and assessment*, 166(1), 113-124. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>
- Santos, H. G., Jacomine, P., Dos Anjos, L., De Oliveira, V., Lumberras, J., Coelho, M., . . . Cunha, T. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos: Brasília, DF: Embrapa*, 2018.
- Santos, P. R., Pereira, G., e Rocha, L. C. (2014). Análise da distribuição espacial dos focos de queimadas para o bioma Cerrado (2002-2012). *Caderno de Geografia*, 24(1), 133-142. DOI: <http://dx.doi.org/10.5752/P2318-2962.2014v24nespp133>

- Schmidt, I. B., Fonseca, C. B., Ferreira, M. C., e Sato, M. N. (2016). Implementação do programa piloto de manejo integrado do fogo em três unidades de conservação do Cerrado. *Biodiversidade Brasileira*, 6(2), 55-70.
- Silveira, H. L. F. d., Vettorazzi, C. A., e Valente, R. d. O. A. (2008). Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente sig, na bacia do Rio Corumbataí, SP. *Revista Árvore*, 32, 259-268.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000200009>
- Soares, R. V., e Batista, A. C. (2007). *Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo*. Universidade Federal do Paraná Curitiba.
- Souza, M. A. d., e Vale, A. T. d. (2019). Levantamento de plantas de baixa inflamabilidade em áreas queimadas de Cerrado no Distrito Federal e análise das suas propriedades físicas. *Ciência Florestal*, 29, 181-192.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509822416>
- Tangerino, D. F., e Lourenço, R. T. (2013). Comparação da exatidão de métodos de classificação supervisionada e não supervisionada a partir do índice kappa na microbacia do Ribeirão Duas Águas em Botucatu/SP. *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, 4093.
- Torres, F. T. P., Lima, G. S., das Graças Costa, A., de Araújo Félix, G., e da Silva Júnior, M. R. (2017a). Perfil dos Incêndios Florestais em Unidades de Conservação brasileiras no período de 2008 a 2012. *Floresta*, 46(4), 531-542.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v46i4.44199>
- Torres, F. T. P., e Machado, P. J. O. (2008). *Introdução à climatologia* (Geographica, E. Ed.). Ubá: Cengage Learning.
- Torres, F. T. P., Ribeiro, G. A., Martins, S. V., e Lima, G. S. (2010). Determinação do período mais propício às ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG. *Revista Árvore*, 34, 297-303.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000200012>
- Torres, F. T. P., Ribeiro, G. A., Martins, S. V., e Lima, G. S. (2016). Influência do relevo nos incêndios em vegetação em Juiz de Fora (MG). *GEOgraphia*, 18(36), 170-182. DOI: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2016.v18i36.a13748>
- Torres, F. T. P., Roque, M. P. B., Lima, G. S., Martins, S. V., e de Faria, A. L. L. (2017b). Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. *Floresta e Ambiente*, 24, e00025615.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.025615>
- Torres, F. T. P., Torres, C. M. M. E., Lima, G. S., Martins, S. V., Mendes, A. E. d. O., Padovani, M. T., . . . Valverde, S. R. (2018). Análise do perfil dos incêndios florestais no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro e entorno (MG). *Ciência Florestal*, 28, 1008-1021.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509833384>
- White, L. A. S., White, B. L. A., e Ribeiro, G. T. (2016). Modelagem espacial de risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, Bahia, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 36(85), 41-49.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2016.pfb.36.85.850>
- Yang, Y., e Wong, K. K. F. (2013). Spatial Distribution of Tourist Flows to China's Cities. *Tourism Geographies*, 15(2), 338-363.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14616688.2012.675511>
- Zacharias, G. C. (2013). *Indicadores para a gestão de riscos de incêndios florestais em áreas periurbanas do Distrito Federal, Brasil: estudo de caso do Núcleo Rural do Córrego do Urubu* (Dissertação de Mestrado), Universidade Católica de Brasília, Brasília.