

DOI: 10.33947/1981-741X-v21n2-5023

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO, EM AMBIENTE SIG, PARA ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM ÁREAS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS****MULTICRITERIA ANALYSIS, IN A GIS ENVIRONMENT, FOR FOREST FIRE RISK ZONING IN WATERSHED AREAS**

Tiago Henrique Schwaickartt Feitosa<sup>1</sup>, Anildo Monteiro Caldas<sup>2</sup>, Salatiel Ewen Braga<sup>3</sup>, Allana Monique Bezerra Lustosa Perônico<sup>4</sup>, Antony Eliel Andrade da Silva<sup>5</sup>, Lucas José de Souza Silva<sup>6</sup>, Teresa Cristina Tarlé Pissarra<sup>7</sup>, Euzônio Rizzi Neto<sup>8</sup>, Richárlisson Filipe Francisco de França<sup>9</sup>, Alice Pedrosa Correia<sup>10</sup>

**RESUMO**

A temática de incêndios florestais está cada vez mais em pauta, seja por influência de mudanças climáticas ou por efeitos antrópicos, havendo grande preocupação com seus efeitos prejudiciais ao ambiente. A partir disto, esta pesquisa objetivou o mapeamento do potencial de risco de incêndios florestais na bacia hidrográfica do rio Tapacurá, utilizando ferramentas de sensoriamento remoto e processamento de dados através de Sistemas de Informação Geográficos (SIG's). Para isto, foram utilizadas metodologias adaptadas dos trabalhos de Chuvieco e Congalton (1989), sendo possível determinar diferentes classes de risco de incêndio, variando de baixo, médio à alto, para diversos fatores ambientais que irão influenciar estes processos, tais como o uso e ocupação do solo, declividade do relevo, deficiência hídrica anual, precipitação pluviométrica, altitude, temperatura média do ar, evapotranspiração real anual e a orientação das faces de encostas. Através destes fatores, foi possível obter o mapa de risco de incêndio que denotou 48,49% da área da bacia encontrando-se sob nível médio de risco de incêndio, seguido por 41,28% da área sob alto risco de incêndio, e 10,23% da área constituída por baixo nível de risco de incêndio. O estudo permitiu a melhor compreensão destes riscos sobre a área da bacia, como também apresentou grande potencial para nortear a tomada de decisão da esfera pública para possíveis medidas de prevenção e combate de focos de incêndio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Método ahp. Fatores ambientais. Álgebra de mapas.

**ABSTRACT**

*The theme of forest fires is increasingly relevant, either by influence of climate change or by anthropic effects, with great concern about its harmful effects on the environment. Based on this, this research aimed at mapping the potential risk of forest fires in the Tapacurá River watershed, using remote sensing tools and data processing through Geographic Information Systems (GIS). For this, methodologies adapted from the works of Chuvieco and Congalton (1989) were used, making it possible to determine different classes of fire risk, ranging from low, medium to high, for various environmental factors that will influence these processes, such as land use and occupation, terrain slope, annual water deficiency, rainfall, altitude, average air temperature, real annual evapotranspiration and the orientation of the terrain's slopes. Through these factors, it was possible to obtain the fire risk map that encompassed 48.49% of the basin area being under medium fire risk level, followed by 41.28% of the area under high fire risk, and 10.23% of the area consisting of low fire risk level. The study allowed for a better understanding of these risks in the watershed area, and also presented great potential to guide public decision-making for possible measures to prevent and fight fires.*

**KEYWORDS:** Ahp method. Environmental factors. Map algebra.

<sup>1</sup> Graduando do curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

<sup>2</sup> Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista FCAV/UNESP (2015), com período sanduíche na universidade de Valladolid - Espanha. Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

<sup>3</sup> Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco.

<sup>4</sup> Graduanda do curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

<sup>5</sup> Residente Programa de Residência Multiprofissional Atenção Básica / Saúde da Família - Associação Caruaruense de Ensino Superior.

<sup>6</sup> Mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco.

<sup>7</sup> Doutora em Agronomia - Programa Produção Vegetal, na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Câmpus Jaboticabal. Professora da UNESP.

<sup>8</sup> Graduando do curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

<sup>9</sup> Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco.

<sup>10</sup> Mestranda em Engenharia Ambiental, com linha de pesquisa na área de Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

## INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são consideradas unidades importantes de gerenciamento, como estabelecido pela Lei Federal nº 9.433/97, pois qualquer evento ou impacto ambiental que ocorre dentro destas áreas causarão mudanças na qualidade e quantidade de água produzida pela mesma (Leal *et al.*, 2019). Para Dessie e Bredemeier (2013), um dos impactos ambientais que mais afetam os processos hidrológicos dentro de uma bacia hidrográfica refere-se à perda de cobertura vegetal desta área, ressaltando a importância da manutenção das unidades florestais dentro das bacias hidrográficas.

Consequentemente, há um grande incentivo por parte dos órgãos públicos para que haja um gerenciamento dos processos que ocorrem nessas bacias, analisando diversos fatores que podem vir a acarretar em danos ecológicos, tais como perdas das unidades florestais. O fator que mais contribui para a perda de cobertura vegetal se trata dos incêndios florestais (Moore, 2019), sendo este então um evento relativamente comum de ser enfrentado por gestores públicos (Moreira; Mendes; Santos, 2020).

As recentes queimadas decorrentes de ações antrópicas na região amazônica nos últimos anos tem gerado uma série de discussões sobre o potencial da utilização do ferramental das geotecnologias para a elaboração de riscos de incêndio.

Desta maneira, é possível a determinação das áreas que apresentam potencial de risco de incêndios florestais através de uso de SIG's. De acordo com Fernandes *et al.* (2011) a utilização do geoprocessamento como ferramenta é de suma importância para elaboração de estudos que buscam o entendimento de fatores da paisagem que vêm a definir a espacialização de eventos como o risco de incêndio. Estudos realizados por Paz *et al.* (2011), mostraram que os mapas de risco de incêndio criados a partir de SIG's possibilitaram a gestão por parte da esfera pública o planejamento das atividades de prevenção a incêndios florestais, de maneira estratégica para o futuro.

O primeiro modelo estabelecido para a obtenção do índice de risco de incêndio surgiu em 1972, denominado Fórmula de Monte Alegre (FMA), utilizando-se de variáveis meteorológicas, tais como a umidade do ar e a precipitação, para determinar a probabilidade de haver incêndios através da presença de possíveis fontes de material para o mesmo ocorrer (Soares, 1972).

Desde então, houve o incremento dos modelos de determinação de riscos de incêndios florestais ampliando-se os fatores que constituem estes modelos. Krueger *et al.* (2012), afirmam que como há uma incerteza e complexidade em relação à interação dos fatores ambientais com a realidade, há frequentes julgamentos preliminares sobre o comportamento dos fatores nos modelos, ressaltando a importância da opinião de especialistas na hora de selecionarem os fatores que irão compor os modelos.

Objetivou-se através deste trabalho mapear zonas de risco de incêndios florestais para a área da bacia hidrográfica do rio Tapacurá, juntamente com a classificação dos fatores ambientais determinantes para ocorrência destes eventos, como base para a tomada de decisão de políticas preventivas por parte da Defesa Civil e órgãos correlacionados.

## MATERIAL E MÉTODOS

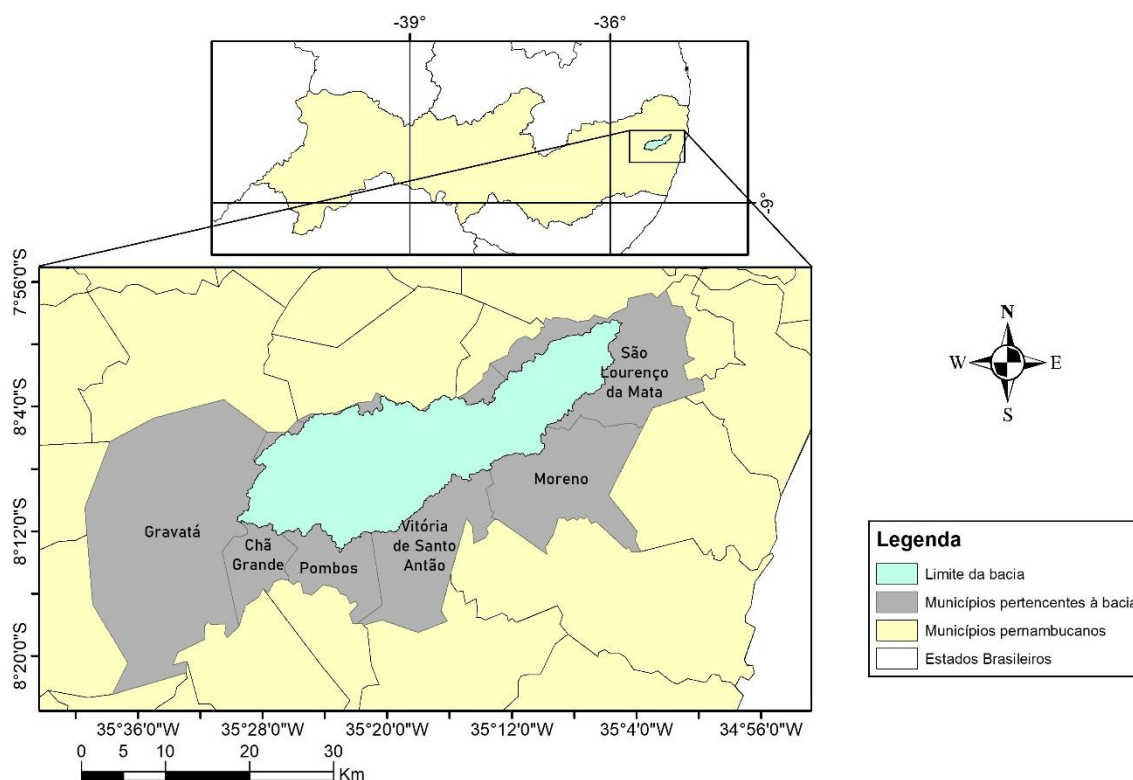
### Área de estudo

O estudo foi realizado na bacia do rio Tapacurá (Figura 1), sub-bacia do rio Capibaribe, esta bacia localiza-se entre a Zona da Mata e o Agreste Pernambucano entre as latitudes 7° 58' 0" S e 8° 13' 0" S e as longitudes 35° 5' 0" O e 35° 30' 0" O (Braga *et al.*, 2021).

O Rio Tapacurá possui comprimento de 72,6 km, considerando seu percurso desde a nascente, no município de Gravatá, até a desembocadura no Rio Capibaribe, no município de São Lourenço da Mata, do qual é o principal afluente (Xavier; Silva, 2018).

**Figura 1:** Localização da bacia hidrográfica do Rio Tapacurá.

*Figure 1: Location of the Tapacurá River watershed.*



**Fonte:** Os Autores (2022).

### Dados espaciais e modelagem

Para compor a base de dados do mapeamento, foram utilizadas cenas da Missão ALOS PALSAR, referentes ao modelo digital de elevação (MDE) com resolução espacial de 12,5 m, disponível no site da *Alaska Satellite Facility* (ASF). Também foram utilizadas cenas da missão Landsat 8 pré-processadas do INPE, para delimitação do uso e ocupação da área da bacia hidrográfica do rio Tapacurá. A criação e armazenamento do banco de dados, bem como a modelagem digital e produtos (mapas temáticos) foram

realizados no software ArcGIS da ESRI GIS *and Mapping Software*, licenciado para o laboratório de Geotecnologias do Departamento de Tecnologia Rural da UFRPE (CALDAS, 2015).

Para a determinação hierárquica, através do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) preconizado em Caldas *et al.*, (2018), do risco de incêndio na bacia do rio Tapacurá, foram utilizados mapas de fatores ambientais climáticos e de superfície, como o uso do solo (US); declividade (D); deficiência hídrica anual (DHA); precipitação pluviométrica (PV); altitude (A); temperatura média do ar (TMA); evapotranspiração real anual (ERA) e orientação do relevo (OR) que foram reclassificados, atribuindo coeficientes de contribuição de acordo com sua importância para o risco de incêndio, na escala de 1 a 3, do menor para o maior risco. A reclassificação dos fatores deu-se devido à necessidade de estabelecer valores dentro das classes distintas que compuseram o potencial de risco de incêndio.

O critério adotado para atribuição dos coeficientes e, posteriormente, dos pesos, para cada fator ambiental, foi através de levantamentos bibliográficos e debates com uma equipe multidisciplinar, composta por Engenheiros Agrônomos e Florestais, Biólogos, Advogados e Geógrafos.

### Fatores ambientais climatológicos

Os dados climatológicos, temperatura média anual, chuva total anual, deficiência hídrica e evapotranspiração real (Tabela 1) foram obtidos no banco de dados climáticos do Brasil, disponibilizados no site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa - Monitoramento por Satélite), submetidos a interpolação dentro da plataforma SIG ArcGIS, para geração dos mapas dos fatores climatológicos.

**Tabela 1:** Dados climatológicos de nove municípios no estado de Pernambuco.

**Table 1:** Climatological data from nine municipalities in the state of Pernambuco.

Longitude	Latitude	Elevação	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)	Evapotranspiração Real (mm)	Deficiência hídrica (mm)
8,42 S	37,08 W	681	22,9	693	693	432
8,52 S	39,33 W	342	25,8	517	517	1017
8,60 S	38,57 W	310	26,5	623	623	1023
8,88 S	36,32 W	822	20,5	869	747	189
7,87 S	40,05 W	432	30,3	618	618	2302
9,98 S	40,48 W	370	26,3	608	608	990
8,05 S	34,92 W	7	25,5	2457	1286	163
7,83 S	35,43 W	418	23,5	704	704	483
7,85 S	38,13 W	1019	21	1373	842	129

Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite (2003).

Na Tabela 2, observa-se os coeficientes e respectivos pesos atribuídos aos fatores climatológicos.

**Tabela 2:** Fatores e coeficientes de contribuição dos fatores climatológicos para o risco de incêndio florestal.

**Table 2:** Factors and contribution coefficients of climatological factors to forest fire risk.

Classes	<b>Fator: Deficiência hídrica anual (mm)</b> Coeficientes de contribuição	Peso do fator
< 450	1	12
450 – 519	2	
> 519	3	
Classes	<b>Fator: Precipitação pluviométrica (mm)</b> Coeficientes de contribuição	Peso do fator
< 847	3	10
847 – 1135	2	
> 1135	1	
Classes	<b>Fator: Temperatura média anual do ar (°C)</b> Coeficientes de contribuição	Peso do fator
< 23,7	1	8
23,7 – 24,2	2	
> 24,2	3	
Classes	<b>Fator: Evapotranspiração real anual (mm)</b> Coeficientes de contribuição	Peso do fator
< 743	1	8
743 – 837	2	
> 837	3	

**Fonte:** Adaptado de Caldas et. al. (2018).

### Fatores ambientais de superfície

Os fatores ambientais intrínsecos à superfície terrestre, uso e cobertura do solo, altitude, declividade e orientação do relevo foram obtidos da seguinte maneira: uso e ocupação do solo obtido da plataforma MapBiomas via Google Earth Engine, do ano de 2019 oriundas do imageamento do satélite Landsat 8. Reclassificou-se em cinco classes o uso e cobertura do solo, sendo estas, pastagem, floresta, agricultura, urbano e corpos hídricos. A altitude, declividade e orientação do relevo foram obtidos a partir do MDE submetido a processamentos dentro da plataforma SIG ArcGIS. A partir da reclassificação desses fatores, obteve-se cinco classes de altitude, seis classes de declividade como preconizado pela Embrapa (2018) sendo estas, plano (0 – 3%), suave ondulado (3 – 8%), ondulado (8 – 20%), forte ondulado (20 – 45%), montanhoso (45 – 75%) e escarpado (> 75%). E por último, a orientação do terreno foi reclassificada em nove classes, conforme a orientação das vertentes. Da mesma forma que os fatores climáticos, após a reclassificação dos fatores de superfície, atribuiu-se coeficientes de contribuição numa escala de 1 a 3, de menor para o maior risco de incêndio (Tabela 3).

**Tabela 3:** Fatores e coeficientes de contribuição dos fatores de superfície para o risco de incêndio florestal.

**Table 3:** Factors and contribution coefficients of surface factors to forest fire risk.

Tabela 6: Fatores and contribution coefficients of various factors to forest fire risk.		
	<b>Fator: Uso do solo</b>	
Classes	Coeficientes de contribuição	Peso do fator
Pastagem	3	20
Floresta	3	
Agricultura	2	
Urbano	1	
Corpos Hídricos	1	
	<b>Fator: Declividade (%)</b>	
Classes	Coeficientes de contribuição	Peso do fator
0 – 3	1	15
3 – 8	1	
8 – 20	2	
20 – 45	2	
45 – 75	3	
> 75	3	
	<b>Fator: Altitude (m)</b>	
Classes	Coeficientes de contribuição	Peso do fator
42 – 100	2	9
100 – 200	2	
200 – 300	3	
300 – 400	1	
400 – 600	1	
	<b>Fator: Exposição ou orientação do relevo</b>	
Classes	Coeficientes de contribuição	Peso do fator
Plano	1	5
Sul	1	
Sudeste	1	
Sudoeste	1	
Leste	2	
Oeste	2	
Norte	3	
Nordeste	3	
Noroeste	3	

**Fonte:** Adaptado de Caldas et. al. (2018).

### Álgebra de mapas

Após a reclassificação e atribuição dos coeficientes e pesos aos mapas dos fatores ambientais climatológicos e de superfície, procedeu-se a modelagem utilizando-se da álgebra de mapas para obtenção do mapa de risco de incêndio florestal para a bacia do rio Tapacurá através da calculadora raster do módulo ArcMAP do ArcGIS, na qual foi implementada o modelo matemático da Equação 1 adaptado de Chuvieco e Congalton (1989). Atribuindo-se os pesos aos mapas dos fatores ambientais conforme o modelo acima, de acordo com o grau de importância de cada fator, onde os mais relevantes irão ter um peso maior e consequentemente representar maior relevância no mapa final do risco de incêndios florestais para a bacia do rio Tapacurá.



$$IRI = 20US + 15D + 12DHA + 10PV + 9A + 8TMA + 8ERA + 5OR \quad \text{(EQUAÇÃO 1)}$$

Em que, IRI = índice de risco de incêndio, US= uso do solo, D= Declividade, DHA= Deficiência hídrica anual, PV= Precipitação pluviométrica, A= Altitude, TMA= Temperatura Média do Ar, ERA= Evapotranspiração Real Anual e OR= Orientação do Relevo.

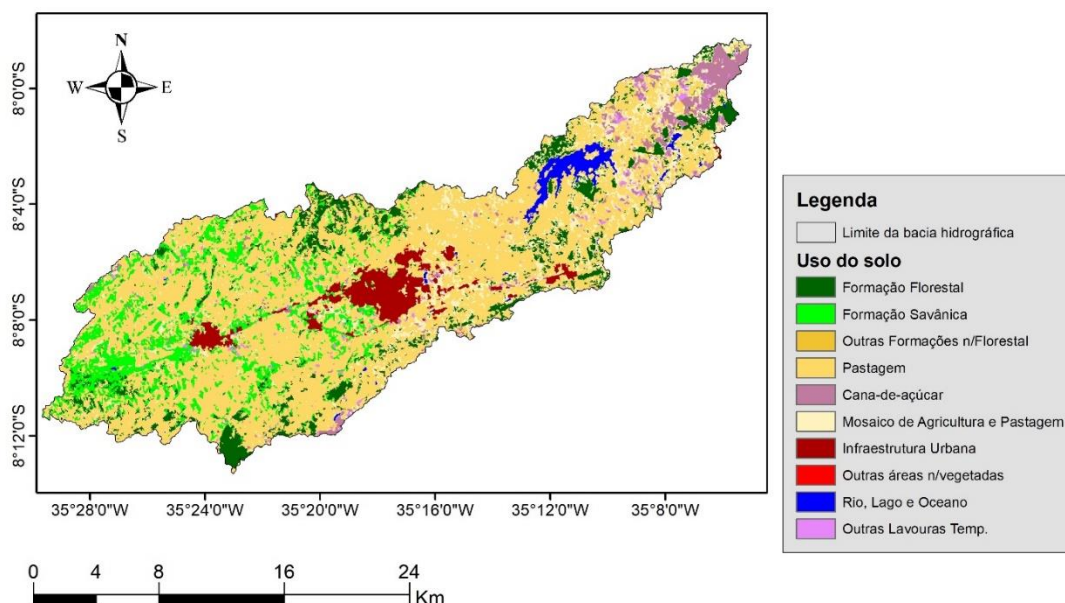
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados a respeito da influência dos fatores ambientais preditores sobre as ocorrências de incêndio florestal é atribuída aos diferentes pesos dados de acordo com a sua importância no contexto de propiciar os incêndios ou auxiliar na duração dos mesmos. Nos estudos de riscos de incêndios florestais, os fatores de superfície são os que mais sofrem ação antrópica direta. Destes, o fator mais importante a se considerar é o uso e ocupação do solo da área em estudo (Figura 2). Sendo fator de grande importância pois indica diretamente se no local há material que poderá servir como combustível em caso de ocorrência de incêndios florestais, apresentando níveis de maior ou menor favorabilidade ao surgimento destes eventos.

Na bacia do rio Tapacurá, a classe de pastagem é predominante, ocupando 324,99 km<sup>2</sup>, equivalente a 69,19% da área, seguido da classe de floresta com 92,80 km<sup>2</sup> de área ocupada, equivalente a 19,76% do total. E em menor abrangência, há agricultura, zonas urbanas e corpos hídricos que somados ocupam 51,89 km<sup>2</sup> e ocupam cerca de 11,05% da área total.

A predominância de pastagem na região chama a atenção uma vez que este tipo de vegetação sofre bastante efeito da deficiência hídrica, onde após longos períodos sem chuva apresentam grande risco potencial de gerarem ou manterem um incêndio florestal, sendo então classificados como uma classe de alto risco. Lopes *et al.* (2018) afirmam que as áreas rurais com presença de pastagem e matas consagram-se como as mais suscetíveis para o predomínio de fogo, baseando-se em sua composição química e nos seus percentuais de uso e cobertura da terra.

**Figura 2:** Mapa de ocupação e uso do solo da bacia do rio Tapacurá.  
**Figure 2:** Map of land use and land cover in the Tapacurá river watershed.



**Fonte:** Os Autores (2022).

A Tabela 4, apresenta o quantitativo da área de cada classe estabelecida após a reclassificação referente ao uso e ocupação do solo.

**Tabela 4:** Classificação do fator do uso e cobertura do solo.  
**Table 4:** Land use and land cover factor classification.

Classes	Área (Km <sup>2</sup> )	% de cobertura	Risco de incêndio
Pastagem	324,99	69,19	Alto
Floresta	92,80	19,76	Alto
Agricultura	22,01	4,69	Médio
Urbano	21,60	4,60	Baixo
Corpos hídricos	8,28	1,76	Baixo

**Fonte:** Os Autores (2022).

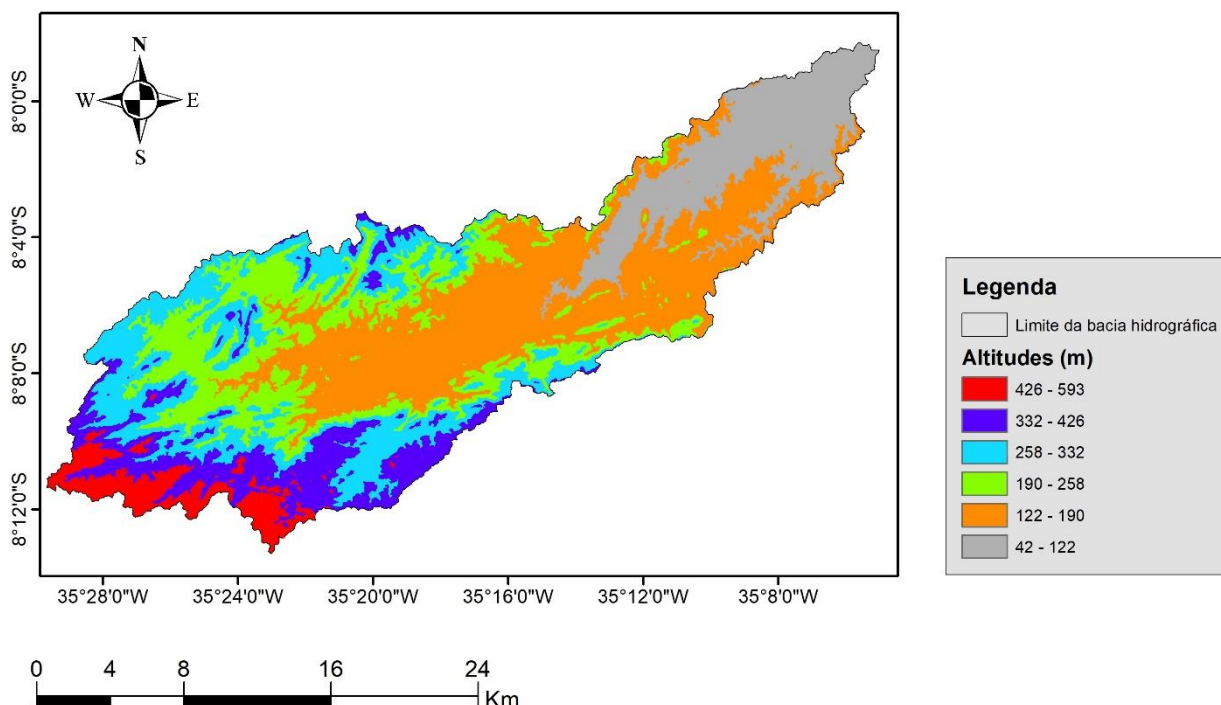
Como outro fator de superfície é a altitude (Figura 3), onde percebe-se a ocorrência de variação entre 42 metros a 426 metros de altitude, apresentando seis classes diferentes que foram classificadas em três valores de risco de incêndio.

Ribeiro *et al.* (2008) afirmam que a altitude do terreno é muito importante, pois afeta as condições climáticas locais e consequentemente atua nas características de umidade do material combustível. Baixas elevações têm a tendência de apresentar estações de risco de incêndios mais longas que altas elevações. Topos de montanha e fundos de vale apresentam diferentes condições de queima durante o dia. Devido às correntes de vento e às condições de temperatura e umidade predominantes nos dois locais, os fundos de



vale apresentam maior potencial de propagação de fogo durante o dia, com a situação se invertendo durante a noite.

**Figura 3:** Mapa de altitude da bacia hidrográfica do rio Tapacurá.  
**Figure 3:** Altitude map of the Tapacurá river watershed.

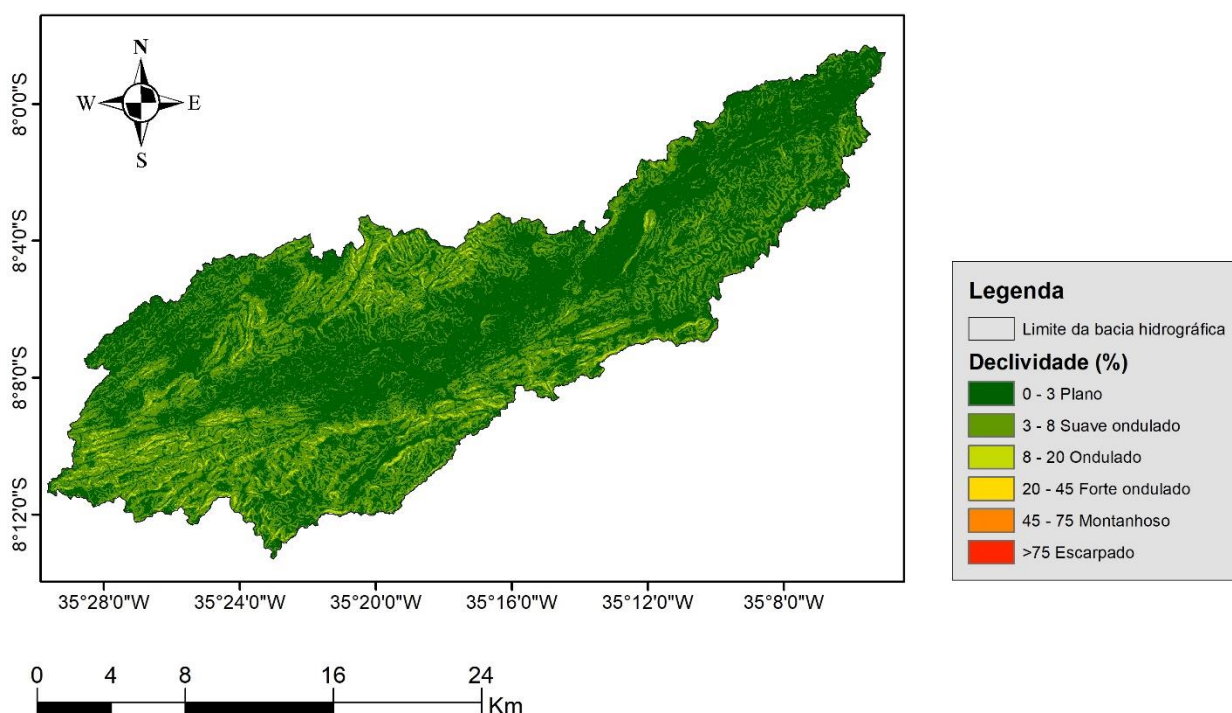


**Fonte:** Os Autores (2022).

O mapa da Figura 4 apresenta a distribuição das classes de declividade da bacia do Tapacurá, apresentando um grau de importância alto, pois a propagação do fogo em áreas de maior inclinação é maior que as de menor inclinação, onde à medida que o valor de inclinação aumenta, também é facilitado a transferência de calor, facilitando que o incêndio se propague por áreas mais declivosas (Ferraz; Vettorazzi, 1998; Soares; Batista, 2007).

Na área de estudo, apresentou-se majoritariamente áreas classificadas como declividade plana a suave ondulado e uma menor extensão áreas com declividade ondulada. Não foram encontrados valores de declividade nas demais classes preconizadas pela Embrapa. Segundo Ribeiro, Soares e Beppler (2012), o fator declividade influencia o clima, tipo de vegetação, condições de vento, umidade do ar e do material combustível, determinando o comportamento do fogo quando associados com outras características ambientais. Santos, Pereira e Rocha (2014) afirmam que as áreas com inclinação maior permitem a propagação do fogo em maior velocidade, quando associada com condições de maior vento e cobertura com composição química suscetível à queima.

**Figura 4:** Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Tapacurá.  
**Figure 4:** Slope map of the Tapacurá river watershed.

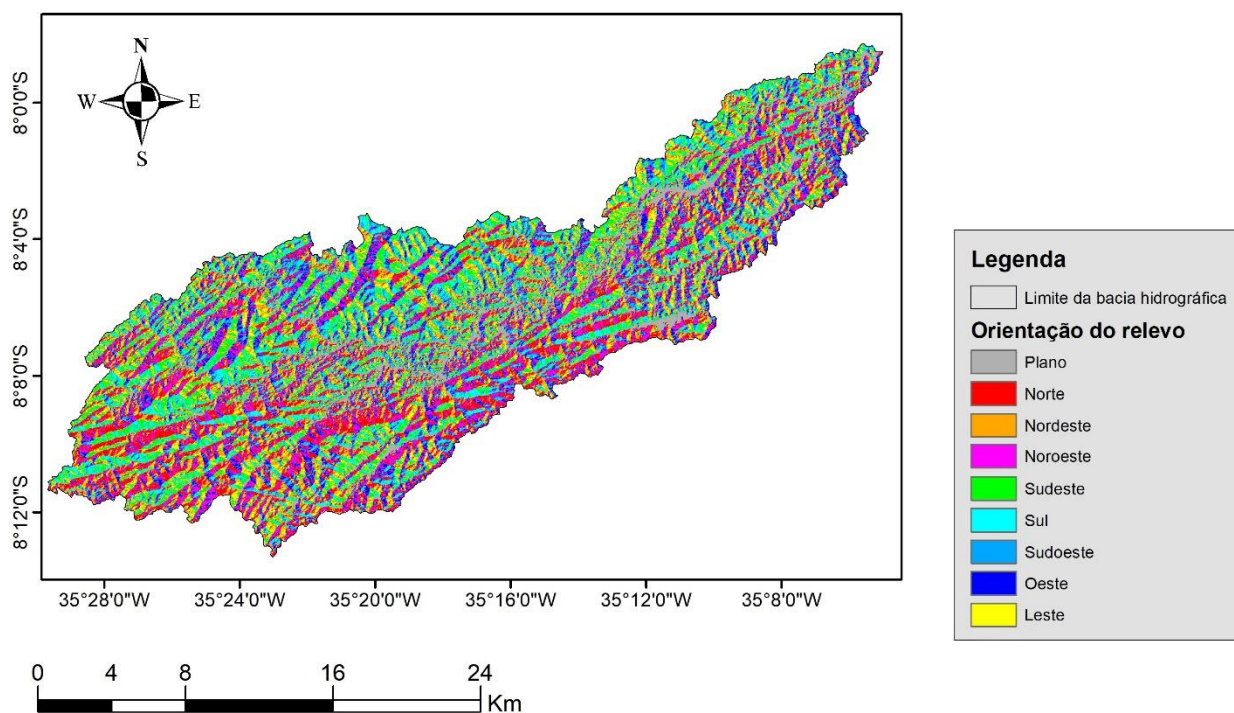


**Fonte:** Os Autores (2022).

No que tange o fator ambiental da orientação do relevo da área da bacia (Figura 5), as temperaturas mais elevadas nas vertentes de face norte são justificadas pela maior exposição de radiação e pela menor umidade relativa, sendo que o material combustível seca mais rapidamente, o mesmo ocorre nas faces nordeste ou noroeste o que aumenta o risco de ocorrência de incêndios. Oliveira (2012) e Ribeiro *et al.*, (2008) afirmam que a exposição de um terreno é fator essencial na probabilidade de ocorrência e propagação de um incêndio. No hemisfério Sul, os raios solares incidem mais diretamente sobre faces voltadas para o norte, transmitindo maior quantidade de calor para essa exposição do que para as outras. A face oeste é a segunda a receber maior quantidade de energia, seguida da face leste. A face sul é a que menos recebe radiação.

DOI: 10.33947/1981-741X-v21n2-5023  
ANÁLISE MULTICRITÉRIO, EM AMBIENTE SIG, PARA ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIOS  
FLORESTAIS EM ÁREAS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS  
Tiago Henrique Schwaickartt Feitosa, Anildo Monteiro Caldas, Salatiel Ewen Braga, Allana Monique Bezerra Lustosa Perônico,  
Antony Eliel Andrade da Silva, Lucas José de Souza Silva, Teresa Cristina Tarlé Pissarra, Euzônio Rizzi Neto,  
Richárlisson Filipe Francisco de França, Alice Pedrosa Correia

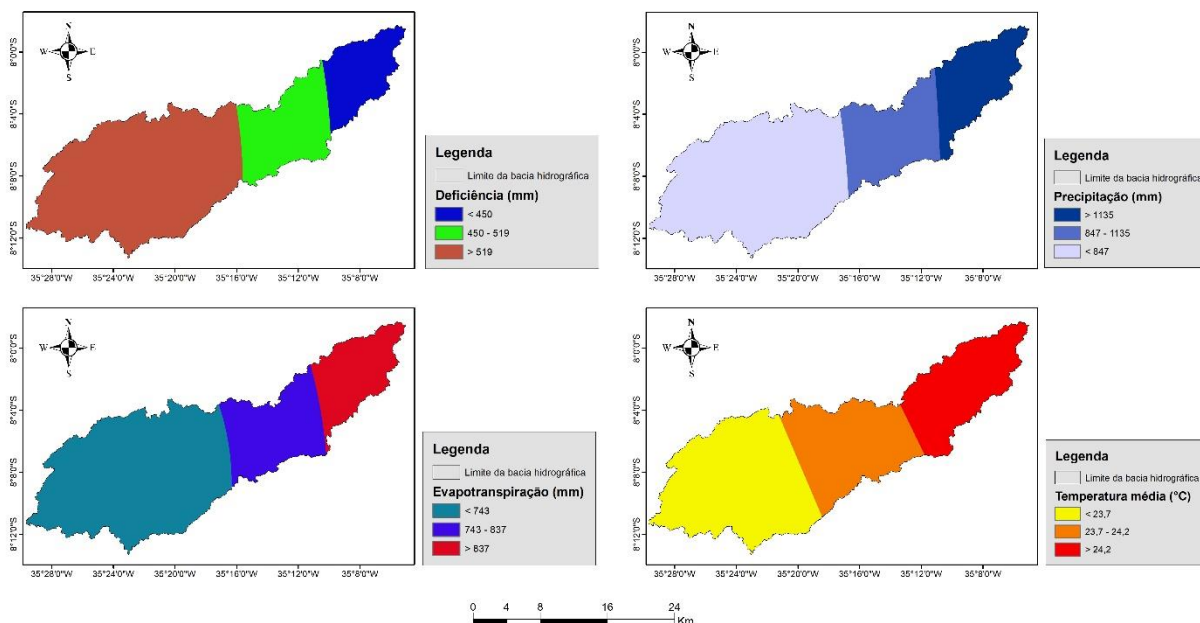
**Figura 5:** Mapa de orientação do relevo da bacia hidrográfica do rio Tapacurá.  
**Figure 5:** Terrain orientation map of the Tapacurá river watershed.



**Fonte:** Os Autores (2022).

No que tange aos fatores ambientais climáticos (Figura 6), a deficiência hídrica anual, a precipitação pluviométrica, a evapotranspiração real anual e a temperatura são fatores que potencializam a ocorrência dos eventos de incêndio.

**Figura 6:** Mapas dos fatores ambientais climáticos da bacia hidrográfica do rio Tapacurá.  
**Figure 6:** Maps of the climatic environmental factors of the Tapacurá river watershed.



Fonte: Os Autores (2022).

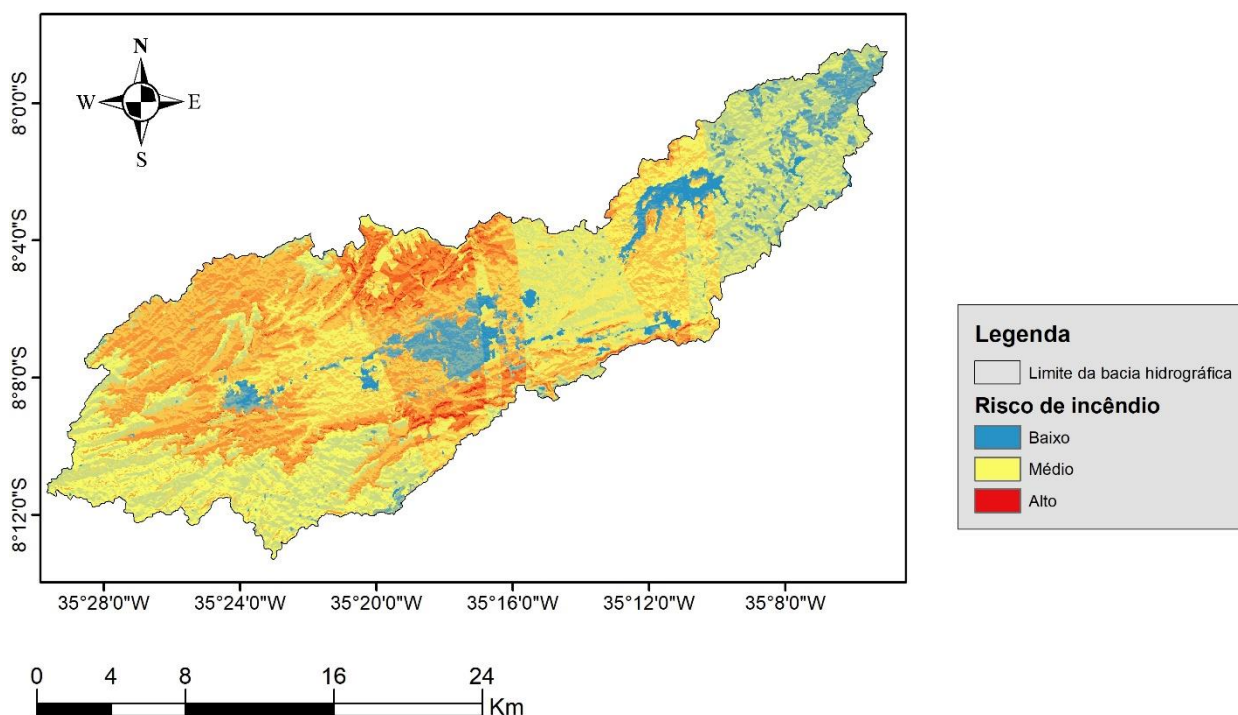
Entre esses fatores, a deficiência hídrica é o que apresenta maior relevância. No que concerne aos valores de deficiência hídrica, observa-se uma variação de 366 mm na porção leste da bacia a 568 mm na porção oeste da bacia. Associados à deficiência hídrica, a precipitação e a evapotranspiração real anual apresentaram valores de 640 a 1500 mm de chuva e 675 a 954 mm, respectivamente ao longo da bacia do rio Tapacurá. Para o fator ambiental temperatura média anual dentro da bacia, observou-se uma variação de 23,24 a 24,85 °C.

Para Nunes *et al.* (2006) a ocorrência e propagação dos incêndios florestais estão fortemente associados aos fatores climáticos. A intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele avança estão diretamente ligados à umidade relativa, à temperatura do ar e à precipitação. Segundo Viganó *et al.* (2018), estes efeitos encontram-se potencializados durante os períodos de seca, visto que a redução no índice pluviométrico é diretamente resultante em ar mais seco, fator este que aumenta a evapotranspiração das plantas e propicia o impacto da radiação solar em dado local, consequentemente elevando temperaturas e favorecendo a ocorrência de eventos de incêndios. De acordo com Caldas *et al.* (2021) é notório que mudanças na temperatura média de uma bacia ocorram de acordo com a variação de altitude dentro da mesma, fator este que também irá afetar a frequência e intensidade de chuvas ao longo do ano. Abreu e Souza (2016), ratificam que, o conhecimento dos fatores climáticos é um passo importante para a elaboração de programas de prevenção e de combate aos incêndios florestais.

O mapa de risco de incêndio (Figura 7), apresenta as diferentes classes de risco dispostas dentro da área da bacia do rio Tapacurá.



**Figura 7:** Mapa do risco de incêndio da bacia hidrográfica do rio Tapacurá.  
**Figure 7:** Fire risk map of the Tapacurá river watershed.



**Fonte:** Os Autores (2022).

Todas as três classes de risco baixo, médio e alto apresentam ocorrência na área estudada, onde é possível visualizar que as áreas mais suscetíveis ao risco de incêndio florestal são as regiões de morro presentes nas redondezas das principais áreas urbanas inseridas dentro da bacia hidrográfica, com exceção das próprias zonas urbanas, que apresentam classes de baixo risco de incêndio.

Destas áreas de morro, a que apresenta maior risco localiza-se dentro do município de Vitória de Santo Antão, seguido logo após pelo município de Pombos, ambos apresentando as maiores concentrações de classe de alto nível de risco de incêndio. As áreas da região central da bacia apresentam médio risco de incêndio. As classes de baixo risco de incêndio florestal estão localizadas nas zonas urbanas, mas também se apresentam nas áreas próximas dos principais corpos hídricos da região, como também as zonas de agricultura na região nordeste da bacia. Na Tabela 5, estão os quantitativos das áreas que cada classe ocupa, verificando-se que 48,49% da área da bacia do rio Tapacurá está sob o nível médio de risco de incêndio, sendo este o maior percentual dentre as classes, seguido por 41,28% sob o nível de alto risco de incêndio e 10,23% sob o nível de baixo risco de incêndio, correspondendo ao menor percentual da área da bacia.

**Tabela 5:** Área dos níveis do risco de incêndio florestal para a bacia do rio Tapacurá – PE.

**Table 5:** Area of forest fire risk levels for the Tapacurá river basin - PE.

Níveis	Áreas (km <sup>2</sup> )	%*
Baixo	47,89	10,23
Médio	226,91	48,49
Alto	193,18	41,28
Total	467,99	100
*Percentual em relação à área total da bacia		
<b>Fonte:</b> Os Autores (2022).		

Segundo Roy (2005), os mapas de risco de incêndios florestais têm por objetivo apoiar o planejamento de medidas de prevenção a esses eventos, assim como a otimização dos recursos e infraestruturas disponíveis para sua defesa e combate. A elaboração destes documentos recorrem aos modelos de fatores ambientais que podem explicar de forma mais relevante a variabilidade espacial do risco de incêndio.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapa de risco de incêndio que fora obtido denota que 48,49% da área da bacia do rio Tapacurá se encontra sob nível médio de risco de incêndio, constituindo este a maior porcentagem dentre as classes, seguido por 41,28% da área sob alto risco de incêndio, e 10,23% da área constituída por baixo nível de risco de incêndio.

É perceptível que dentre as áreas mais afetadas, estas são as localizadas nas redondezas das principais zonas urbanas da bacia, sofrendo influência tanto de fatores físicos, da classe de uso do solo constituída de floresta e pastagens, e também do relevo da região, como também sofre influência de fatores climáticos por estar em uma região da bacia que naturalmente há menor pluviosidade, este é um dos principais fatores climáticos que caracterizou o risco, juntamente com a evapotranspiração e a deficiência hídrica.

Este trabalho possibilita a utilizar deste conhecimento para nortear a tomada de decisão da esfera pública para possíveis medidas de prevenção ou combate de focos de incêndio que poderão acontecer dentro da área de estudo.

## REFERÊNCIAS

ABREU, F. A.; SOUZA, J. S. A. Dinâmica espaço-temporal de focos de calor em duas terras indígenas do Estado de Mato Grosso: uma abordagem geoespacial sobre a dinâmica do uso do fogo por Xavantes e Bororos. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 1-10. 2016.

BRAGA, S. E.; CALDAS, A. M.; NETO, E. R.; SILVA, L. J. De. S.; PERÔNICO, A. M. B. L.; WANDERLEY, R. A.; FREITAS, P. M. L. De.; LIMA, J. R. De.; CUNHA, C. R. R. O. Da.; ABREU, B. S. Conflito ambiental de uso do solo na bacia hidrográfica do Tapacurá-PE. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e52310212833. 2021.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria



o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm).

CALDAS, A. M. **Diagnóstico geoambiental no município de Batatais-SP**. 2015. 119f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015.

CALDAS, A. M.; PISSARRA, T. C. T.; COSTA, R. C. A.; NETO, F. C. R.; ZANATA, M.; PARAHYBA, R. D. B. V.; SANCHES FERNANDES, L. F.; PACHECO, F. A. L. Flood Vulnerability, Environmental Land Use Conflicts, and Conservation of Soil and Water: A Study in the Batatais SP Municipality, Brazil. **Water**, v. 10, p. 1357, 2018. DOI: 10.3390/w10101357

CALDAS, A. M.; ROLIM NETO, F. C.; RODRIGUES, A. de C. F.; MOURA, A. E. S. S. de.; SILVA, E. R. da; POSSAS, J. M. C.; SENA, J. R.; BRAGA, S. E.; SILVA, L. J. de S.; RIZZI NETO, E.; PERÔNICO, A. M. B. L.; FEITOSA, T. H. S.; SANTOS, A. H. de O.; SOUZA, I. A. de; CORRÊA, M. M. Morphometry, physical-chemical and microbiological water quality aspects and anthropic actions in a watershed in the Atlantic Forest region, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e12210514656, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i5.14656.

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. **Remote Sensing of Environment**, v. 29, n. 2, p. 147–159, 1989.

DESSIE, A.; BREDEMEIER, M. The Effect of Deforestation on Water Quality: A Case Study in Cienda Micro Watershed, Leyte, Philippines. **Resources and Environment**, v. 3 n. 1, p. 1-9. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Monitoramento por Satélite. In: SENTELHAS, P. C.; MARIN, F. R.; FERREIRA, A. S.; SÁ, E. J. S. de. **Banco de dados climáticos do Brasil**. [S. l.: s. n.], 2003. Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Solos. In: SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

FERNANDES, M. C.; COURA, P. H. F.; SOUSA, G. M.; AVELAR, A. S. Avaliação geocológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 3, p. 299-309, 2011.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 26, n. 53, p. 39-48, 1998.

KRUEGER, T.; PAGE, T.; HUBACEK, K.; SMITH, L.; HISCOCK, K. The role of expert opinion in environmental modelling. **Environ Model Softw**, v. 36, p. 4-18. 2012.

LEAL, M. S.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R.; FERREIRA, M. P.; TONELLO, K. C. Definition of priority areas for soil and water conservation in the Itanguá watershed, Capão Bonito, SP state, Brazil. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 531–544. 2019.

LOPES, E. R. DO N.; SILVA, A. P. P.; PERUCHI, J. F.; LOURENÇO, R. W. Zoneamento de Risco de Incêndio e Queimadas na Cidade de Sorocaba – São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 36, p. 117-129. 2018.

MOORE, P. F. Global Wildland Fire Management Research Needs. **Current Forestry Reports**, v. 5, p. 210-

225, 2019.

MOREIRA, P. A. G.; MENDES, T. A.; SANTOS, D. F. Dos. Avaliação de locais potenciais para instalação de torres de observação para prevenção de risco de incêndios florestais. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 4, p. 1266-1282, 2020.

NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Especificação de um sistema computacional integrado de controle de incêndios florestais. **Floresta**, v. 36, n. 2, p.201-211, 2006.

OLIVEIRA, E. de G. **Mapa de Risco e propagação de incêndios florestais no Parque Nacional de Brasília**. 2012. 29f. Monografia (Curso de Especialização em Geoprocessamento Ambiental) - Universidade de Brasília/UnB, Instituto de Geociências, Brasília, 2012.

PAZ, S. *et al.* Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-risk: a recent case study from Mt. Carmel (Israel). **Forest Ecology and Management**, n. 262. p. 1184-1188, 2011.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 5 da Série Anual de Mapas da Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1>.

RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R.; BATISTA, A. C. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Floresta**, v. 38, n.3, 2008.

RIBEIRO, L.; SOARES, R.V.; BEPLER, M. Mapeamento do risco de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Mato Grosso, Brasil. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 117-126, 2012.

ROY, D. Prototyping a global algorithm for systematic fire affected area mapping using MODIS time series data. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, n. 2, 2005.

SANTOS, P. R.; PEREIRA, G.; ROCHA, L. C. Análise da distribuição espacial dos focos de queimadas para o bioma Cerrado (2002-2012). **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 133-144, 2014.

SOARES, R. V. **Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro paranaense, Brasil**. 1972. 72f. Dissertação (Mestrado) - CATIE/IICA, Turrialba, Costa Rica, 1972.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: Controle, Efeitos e Uso do Fogo**. Curitiba: UFPR, 264 p. 2007.

VIGANÓ, H. H. da. G. *et al.* Incêndios no Pantanal de Corumbá, MS: modelagem e previsão a partir das técnicas de análise multivariada. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 5, 2018.

XAVIER, A. P. C.; SILVA, R. M. Da. Modelagem temporal dinâmica do uso e ocupação do solo baseado em SIG para a Bacia do Rio Tapacurá (PE). **Geosciences, Geociências**, v. 37, n. 1, p. 193–210, 2018.