



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Análise espaço-temporal do risco de ocorrência de incêndios vegetacionais em bacias hidrográficas no sudeste da Amazônia

Wanderson Carvalho da Silva¹, André Jasper², Adilson Pacheco de Souza³

¹ Dr. em Ciências: Ambiente e Desenvolvimento, Professor Adjunto, Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Pará (UEPA), Travessa Djalma Dutra, Belém, Pará. (91) 3284-9614. wandersoncarvalho@uepa.br (autor correspondente). ² Professor Titular, Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), Av. Avelino Talini, 171, CEP 95914-014, Lajeado, Rio Grande do Sul. (51) 3714-7000. ajasper@univates.br. ³ Professor Associado, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Unidade Federal de Mato Grosso, Av. Alexandre Ferronato, 1200, CEP 78550-728, Sinop, Mato Grosso. (66) 98136-3805. pachecoufmat@gmail.com.

Artigo recebido em 04/10/2023 e aceito em 29/05/2024

RESUMO

O trabalho teve como objetivo mapear os riscos de ocorrência de incêndios vegetacionais em três sub-bacias hidrográficas do rio Xingu, no sudeste da Amazônia brasileira, para o ano de 2021. Com o auxílio de técnicas de geoprocessamento realizou-se o cruzamento de nove variáveis ambientais afim de construir um mapa de risco de ocorrência de incêndios vegetacionais. As variáveis ambientais foram classificadas e reclassificadas conforme sua relevância para o risco de ocorrência de incêndios vegetacionais e as análises e ponderações seguiram o método Analise Hierárquica de Processos – AHP. A metodologia AHP foi eficiente e os riscos alcançados nas três sub-bacias formam divididos em cinco classes: baixo, moderado, alto, muito alto e extremo. Conforme o mapeamento de risco de ocorrência de incêndios vegetacionais, na sub-bacia hidrográfica do rio Culene os focos de calor tiveram ocorrência concentrada nos meses de julho e agosto e 99,72% ocorreram em áreas pertencentes as classes de risco muito alto e extremo. Para a sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura os focos de calor ocorreram em volume maior entre junho e outubro e 98,14% destes, acontecem em áreas das classes de risco alto e muito alto. Já na sub-bacia hidrográfica do rio Fresco o maior número de focos de calor foi registrado em agosto e setembro, quando 96,32% dos focos foram registrados em áreas das classes de risco alto e muito alto.

Palavras-chave: rio Xingu, condições ambientais, focos de calor, incêndios florestais, geoprocessamento.

Spatiotemporal analysis of vegetation fires and hot spots in watersheds in southeastern Amazonia

ABSTRACT

The objective of the work was to map the risks of vegetation fires occurring in three hydrographic sub-basins of the Xingu River, in the southeast of the Brazilian Amazon, for the year 2021. With the aid of geoprocessing techniques, nine variables were crossed to build a map of risk for the occurrence of fires in vegetation. The environmental variables were classified and reclassified according to their relevance to the risk of fires occurring in vegetation, and the analyses and weightings followed the Hierarchical Process Analysis – AHP method. The AHP methodology was efficient and the risks achieved in the three sub-basins were divided into five classes: low, moderate, high, very high and extreme. According to the mapping of the risk of fires occurring in vegetation in the Culene River sub-basin, the outbreaks occurred concentrated in the months of July and August, and 99.72% occurred in areas belonging to the very high and extreme risk classes. For the Comandante Fontoura river sub-basin, hot spots occurred in greater volume between June and October, and 98.14% of these occurred in areas in the high and very high-risk classes. In the Fresco River sub-basin, the highest number of outbreaks was recorded in the months of August and September, when 96.32% of outbreaks were recorded in areas in the high and very high-risk classes.

Keywords: Xingu River, environmental conditions, hot spots, forest fires, geoprocessing.

Introdução

Os incêndios vegetacionais são grandes causadores de prejuízos à natureza e seus elementos, pois causam a destruição de ecossistemas, perdas à biodiversidade, ao ciclo

hidrológico e ao ciclo do carbono na atmosfera, ocasionando prejuízos econômicos, paisagísticos e ecológicos, dentre outros (Lourenço, 1990; Freitas et al., 2005; Diakakis et al., 2017; Vergani et al.,

2017). Incêndio vegetal é a denominação da ocorrência do fogo sem controle, que se propaga sobre qualquer forma de vegetação, podendo ser de origem antropogênica ou natural (Pyne et al., 1996). Grandes incêndios em áreas naturais ou agrícolas originam-se de queimadas descontroladas, que por sua vez causam impactos socioambientais e socioeconômicos locais, e também efeitos remotos com alcance regional e global (Jones et al., 2022) e de impactos que podem ser verificados por diferentes escalas temporais (Ferreira et al., 2020; Oliveira Filho et al., 2022). Assim, o artigo tem como hipótese central que os incêndios vegetacionais provocam impactos severos, complexos e multifacetados em diferentes ecossistemas.

A pesquisa propõe que, o fogo e pode causar prejuízos significativos, como deterioração de grandes áreas de vegetação, alterações no ciclo hidrológico e aumento de emissões de gases de efeito estufa. além disso, os incêndios vegetacionais afetam a saúde e o bem-estar das comunidades locais e apresentam implicações regionais e globais, exigindo uma compreensão holística e multidisciplinar para a gestão e prevenção eficaz desses eventos.

Os incêndios vegetacionais representam uma ameaça significativa tanto para a conservação da natureza quanto para a sustentabilidade das atividades humanas em regiões vulneráveis.

Dada a sua importância, atualmente o tema é preocupação recorrente ao redor do mundo. Doerr e Santín (2016), descrevem como a preocupação com os incêndios florestais está mais difundida nas áreas da comunicação e nas ciências. Peterson et al. (2017), cita a ocorrência de incêndios globais graves com piro-convecção, que podem ter seus riscos e consequências potencializados por condições climáticas extremas (Di Virgilio et al., 2019). Incêndios graves e suas causas e consequências também são verificados e analisados em diferentes partes do planeta (Field et al., 2016; Davies, et al., 2023; Nieman et al., 2021; Strydom; Savage, 2016; Neger et al., 2022; Rodrigues et al., 2020; Shimabukuro et al., 2020; Vieira, 2023).

O fogo, mesmo sendo parte da formação de alguns ecossistemas, pode atingir proporções irreversíveis, causando degradação extensa e devastando grandes áreas e comprometendo toda a cobertura vegetal do solo. Em alguns ecossistemas (habitats), o fogo pode ser um processo ecológico natural e necessário, que desempenha um papel importante na formação e manutenção da biodiversidade, contribuindo na germinação e floração de diversas espécies e no aumento da densidade da vegetação (Myers, 2006; Oliveira e Silva, W. C.; Jasper, A.; Souza, A. P.

Jasper, 2018). Todavia, em outros ecossistemas, o fogo pode reduzir a biodiversidade, liberar altos níveis de gases de efeito estufa, facilitar a entrada e proliferação de espécies invasoras, alterar componentes do balanço hidrológico da paisagem e prejudicar a qualidade do ar local e regional (Pivello, 2011).

Estudos recentes têm demonstrado que a perda de vegetação é significativa e recuperação de áreas afetadas por incêndios vegetacionais pode levar décadas, ou até mesmo séculos, dependendo da severidade do fogo e da resiliência do ecossistema (Molinari et al. 2019; Kelly et al., 2021). as alterações na composição da vegetação, a perda de microorganismos, nutrientes e estrutura do solo, são apenas alguns dos impactos que podem persistir muito além do evento inicial do fogo, exacerbando os desafios de conservação e recuperação ambiental (Vergani et al., 2017; Qin e Liu, 2021).

Além disso, a economia local depende fortemente dos recursos naturais, e os incêndios podem causar danos irreparáveis aos recursos hídricos, agrícolas e pastoris, comprometendo a segurança alimentar e a estabilidade econômica das comunidades.

Os incêndios vegetacionais são fenômenos complexos dependentes de vários fatores, tais como condições meteorológicas, topográficas, disponibilidade de combustível e potencial de ignição (Lemos e Cunha, 2021; Fidalgo e Fernandes., 2023; Lima Filho et al., 2024). A interação entre fatores bioclimáticos e antrópicos é um dos principais desafios para se entender e prever as condições de inflamabilidade e combustibilidade dos materiais vegetais, e consequentemente, a ignição e propagação dos incêndios (Jones et al., 2022; Fidalgo e Fernandes., 2023; Lima Filho et al., 2024).

A complexidade desses fatores exige uma abordagem multidisciplinar que considere não apenas os aspectos físicos e biológicos, mas também as dimensões socioeconômicas e culturais. A relação entre incêndios, desmatamento e práticas agrícolas danosas a natureza exige um olhar minucioso. Entender essa relação é fundamental para promover o consumo e a produção responsáveis, minimizando a degradação ambiental e o esgotamento de recursos naturais. Além disso, os incêndios vegetacionais contribuem para a emissão de gases de efeito estufa, impactando diretamente o compromisso global de lidar com as mudanças climáticas.

A agricultura de corte e queima, comumente praticada em regiões de fronteira agrícola, não apenas aumenta a vulnerabilidade aos incêndios, mas também amplia as emissões de CO₂,

agravando as mudanças climáticas. a transposição dessas práticas por métodos mais sustentáveis é urgente para a redução dos riscos associados aos incêndios.

Assim, é importante que existam ferramentas que auxiliem no planejamento e prevenção dos incêndios vegetacionais, pois, uma vez instalados, os prejuízos podem ser catastróficos (Ferreira et al., 2020). Para mitigar os danos vinculados aos incêndios vegetacionais, foram desenvolvidos diferentes índices de perigo e de risco, que medem a probabilidade de ignição e propagação de incêndios, quer por causas naturais, quer antrópicas (Antunes et al., 2011). Esses índices permitem ao poder público implementar ações de proteção e estabelecer políticas de planejamento. Os mapeamentos de risco de incêndios são instrumentos fundamentais no planejamento e prevenção (Batista, 2000; Amorim e Oliveira, 2013), principalmente em regiões com restrições logísticas e/ou limitação de água disponível para o combate aos incêndios florestais.

O desenvolvimento e a aplicação de tecnologias avançadas, como o uso sensoriamento remoto, de geoprocessamento e modelos computacionais, têm se mostrado indispensáveis para a detecção precoce e a monitoração de incêndios. essas ferramentas permitem aos gestores tomar decisões rápidas e informadas, mitigando os impactos antes que se propaguem em escala irreversível.

Os estudos detecção precoce de incêndios vegetacionais em alguns países estão avançados, com a implementação e utilização de inteligências artificiais (IA) e redes neurais que buscam atuar com o cérebro humano (deep learning) e analisar de forma cruzada e em tempo real dados como focos de calor, detecção e mapeamentos através de produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento (Carta et al., 2023; Ghali e Akhloui, 2023). Nesse sentido, também vem se destacado as pesquisas que buscam estabelecer mecanismos de transferência de conhecimento (transfer learning) para permitir que sistemas computacionais pré-treinados façam a identificação de incêndios vegetacionais de maneira autônoma, economizando tempo e recursos humanos (Reis e Turk, 2023). Essa integração de mecanismos e de entidades que monitoram os incêndios deve ser pensada e estruturada como ocorre com as análises climáticas, onde as informações são multiescalares (Bowman, 2023).

No Brasil ainda não se verifica esse nível de avanço na identificação de focos de queimada e incêndios. Assim, como demonstra Ziccardi et al. (2020), é importante avançar no desenvolvimento

e criação de índices de perigo de incêndios vegetacionais que somados com sensoriamento remoto (SR) e geoprocessamento auxiliam na identificação de áreas predispostas a serem atingidas por incêndios vegetacionais, avançando assim na elaboração de mapeamentos de risco.

Os mapeamentos e zoneamentos de áreas de risco de ocorrência de incêndios vegetacionais produzidos com o geoprocessamento permitem a análise espacial detalhada dos fatores que cooperam para a existência de risco. As análises multicritério combinadas com geoprocessamento são meios eficientes para equacionar e gerenciar vários fatores preditores para os incêndios vegetacionais (clima, topografia, vegetação, histórico de ocorrência e outros) de forma simultânea (Mota et al., 2019; Sousa et al., 2022).

Dessa forma, os mapeamentos de risco se apresentam como ferramentas essenciais de planejamento, com vistas à antecipação e minimização dos danos causados por incêndios. Os mapeamentos de risco classificam as áreas por classes de risco, evidenciando espaços com maior ou menor potencial para a ocorrência de incêndios vegetacionais. A utilização de um grande número de variáveis interdependentes pode gerar resultados mais próximos dos riscos reais (Batista, 2000; Tetto et al., 2012; Bacani, 2016; Torres et al., 2017).

A implementação de estratégias de gestão de risco, baseadas em mapeamentos precisos, é crucial para a preservação dos recursos naturais e a proteção das comunidades locais. ações como a instalação de cortinas de segurança vegetal, criação de zonas de amortecimento, e educação ambiental podem reduzir significativamente a incidência e severidade dos incêndios.

Esse tipo de planejamento, em função dos riscos, permite diversas vantagens para o combate dos incêndios, como alocação de infraestrutura e de brigadas de combate em áreas prioritárias, otimização dos recursos financeiros, redução do tempo de resposta, evacuação da população e de animais, e a adoção de técnicas preventivas que minimizem a propagação do fogo, dentre outras.

Nos últimos anos, na Amazônia e no Cerrado, o aumento de ocorrência de incêndios vegetacionais está fortemente associado às atividades criminosas e agrícolas, que utilizam o fogo como parte do processo de limpeza de área e alteração da cobertura do solo (Caúla et al., 2015; Cammelli e Angelsen, 2019). Todavia, a perda de vegetação não é o único problema ocasionado pelo fogo; também podem ocorrer mudanças climáticas, ecológicas e ambientais (Silveira et al., 2020; Lemos e Cunha, 2021; Libonati et al., 2021; Oliveira-Junior et al., 2021).

As políticas públicas devem ser pensadas e fomentadas com o objetivo de combater essas práticas ilegais e promover o desenvolvimento sustentável. A implementação de incentivos para técnicas agrícolas sustentáveis, aliada a uma fiscalização rigorosa, é essencial para romper o ciclo vicioso de destruição e queimadas na região.

Diante do exposto, este trabalho objetiva avaliar as variações espaciais e temporais de incêndios vegetacionais em três sub-bacias hidrográficas do sudeste da Amazônia (afluentes do rio Xingu), que apresentam gradientes de desenvolvimento regional distintos, por meio da construção de um mapeamento de risco de incêndios vegetacionais, baseado nas condições ambientais de 2021. As três sub-bacias foram selecionadas porque se situam no nordeste de Mato Grosso e sudeste do Pará, no corredor de influência da BR-158, e apresentam uma dinâmica de desenvolvimento socioeconômico regional que propiciou diferentes condições de uso e ocupação do solo. Embora a ocupação das áreas não tenha ocorrido necessariamente em períodos distintos nos dois estados, como resultado de processos migratórios distintos, hoje é evidente que as

lavouras (soja/milho) e pastagens no nordeste de Mato Grosso estão mais consolidadas, enquanto no sudeste do Pará, a substituição de pastagens por lavouras é mais recente.

As informações geradas poderão servir como base para a formulação de políticas públicas mais eficazes, visando não apenas a prevenção e o combate aos incêndios, mas também o desenvolvimento de estratégias de adaptação e resiliência frente aos impactos das mudanças climáticas. A análise detalhada das sub-bacias escolhidas poderá fornecer conhecimento sobre como diferentes modelos de desenvolvimento regional influenciam a vulnerabilidade aos incêndios, possibilitando a identificação de práticas e estratégias para outras regiões afetadas.

Material e métodos

2.1 Área em estudo

O presente estudo foi realizado tendo como área de interesse as sub-bacias hidrográficas dos rios Culene, Comandante Fontoura e Fresco, localizadas nos estados de Mato Grosso e Pará, todas contribuintes do rio Xingu (Figura 1).

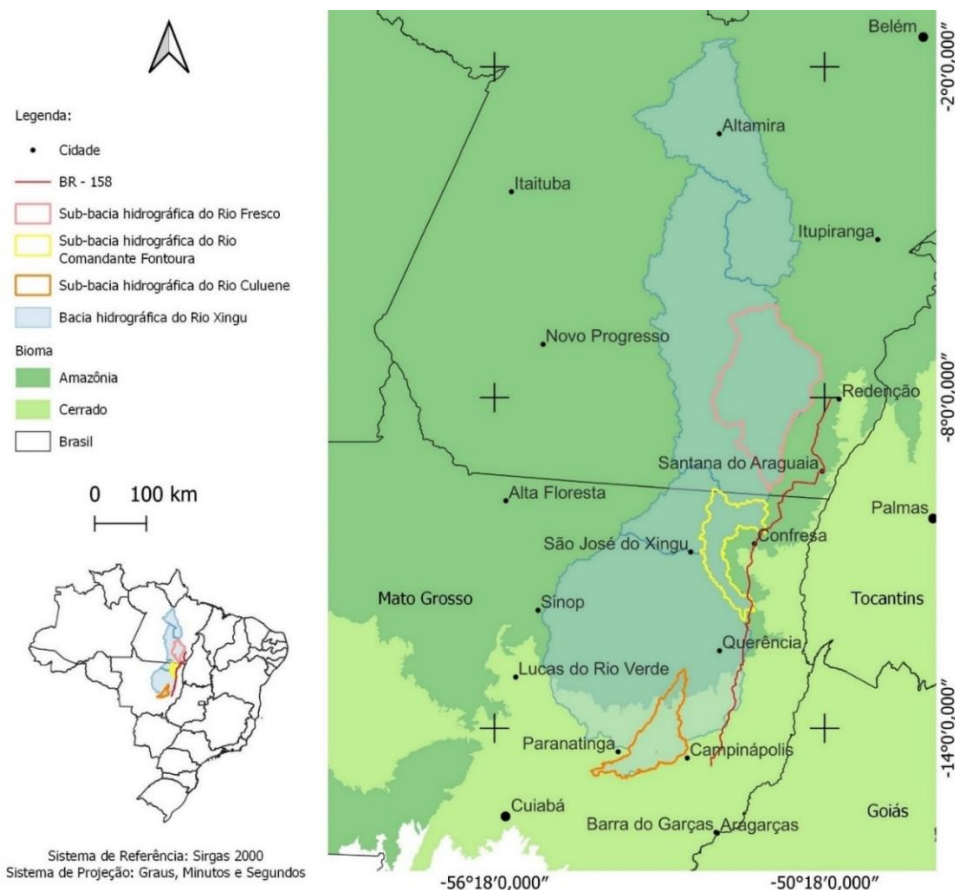


Figura 1. Localização das bacias hidrográficas dos rios Culene, Comandante Fontoura e Fresco, afluentes da margem direita do rio Xingu, na região sudeste da Amazônia.

A bacia hidrográfica do rio Culuene pertence a região das Nascentes do rio Xingu e está localizada na mesorregião Nordeste Mato-grossense e microrregião Canarana e conta com área de 13.688km². Essa bacia hidrográfica apresenta 88,61% de sua área no Bioma Cerrado e o restante no Bioma Amazônia (Figura 1). A vegetação é composta originalmente por áreas de Contato, que fazem a transição entre diferentes tipos de vegetação, por Floresta Estacional Semidecidual, por Formação Pioneira e áreas de Savana (IBGE (2019). Segundo Alvares et. al (2013), os municípios que compõem a bacia hidrográfica estão localizados na Zona Climática Tropical, sendo uma pequena parte no norte da sub-bacia com clima Am (Clima de Monção) e a predominância de clima Aw (Clima de Savana). Os meses chuvosos vão de outubro a abril, com precipitação média para esses meses de 220,7mm e temperatura média mensal de 26,3°C. A estação seca se inicia em maio e se estende até setembro, apresentando uma precipitação média de 31,1mm, embora no ápice do período, no mês de julho, a precipitação fique em média de 19,1mm, a temperatura média para esses meses secos é de 25,8°C.

A bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura pertence a região do Alto Xingu e está localizada na mesorregião Nordeste Mato-grossense, na microrregião do Norte Araguaia e possui uma área superficial de 13.630km². Essa bacia hidrográfica está completamente inserida no Bioma Amazônia (Figura 1), e, nela encontram-se Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Savanas e ainda áreas de Contato (IBGE, 2019). Conforme Alvares et. al (2013), os municípios que compõem essa sub-bacia hidrográfica estão sob influência da Zona Climática, sendo parte que parte desses possui Clima de Savana – Aw e parte possui clima de Monção – Am. Os meses de maiores índices de precipitação ocorrem entre outubro e abril com uma precipitação média de 174,1mm, nesses meses chuvosos a temperatura média fia em 25,9°C. No mês de maio tem início a estação seca que se estende até setembro e apresenta uma precipitação média de 15,2mm, mas no mês de julho o volume de chuvas fica na média de apenas 7mm com uma temperatura média de 24°C.

A bacia hidrográfica do rio Fresco pertence a região do Médio Xingu e está localizada na mesorregião sudeste Paraense e microrregião São Felix do Xingu e têm área de 43.811 km². De acordo com IBGE (2019), essa bacia hidrográfica está localizada inteiramente no Bioma Amazônia (Figura 1) e apresenta sua cobertura vegetal natural composta predominantemente por Floresta

Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, áreas de Contato e ainda, por fragmentos de Formação Savânica, que se espalham de forma relativamente uniforme por toda a extensão da bacia. Conforme Alvares et. al (2013), verifica-se que os municípios que compõem essa bacia hidrográfica estão totalmente inseridos na Zona Climática Topical, tendo parte de suas áreas sob o Clima de Savana (Aw) e parte sob o Clima de Monção (Am). Nessa área os meses chuvosos iniciam em outubro e seguem até abril, e, apresentam uma precipitação média de 181,1mm, tendo uma temperatura média para o mesmo período de 26,2°C. No mês de maio tem início o período mais seco do ano e esse se estende até setembro, nesses meses a precipitação média fica em 13mm, com registro mínimo no mês de julho com uma média de precipitação de apenas 6,9mm, a temperatura para esses meses apresenta uma média de 24,6°C.

2.2. Obtenção e fontes dos dados

As etapas para desenvolvimento desse estudo, foram sequencialmente propostas pela aplicação do método de Saaty (1987), método da Analise Hierárquica de Processos (AHP), agrupadas entre três fases (Figura 2): definição-aquisição de dados, organização-tratamento de dados e processamento de dados. A primeira fase basicamente foi dada pela aquisição de dados espaciais em formato shapefile ou Geotiff; a segunda etapa esses dados foram organizados e trabalhados para obtenção das variáveis necessárias para a modelagem de riscos de incêndio vegetacionais no espaço e no tempo; e a terceira fase, consistiu do cruzamento das variáveis através do software QGis 3.22.8 e suas funcionalidades, tendo por base o fluxograma da AHP.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido junto ao Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – TOPODATA (INPE, 2011) e as imagens do satélite Landsat 8 foram adquiridas junto a Divisão de Geração de Imagens, no Catálogo de Imagens (INPE, 2021); por sua vez, os dados de focos de calor foram obtidos junto ao Banco de Dados BDQueimadas (INPE, 2022). Os dados diários de temperatura do ar, precipitação e umidade relativa do ar foram obtidos junto ao Banco de Dados Meteorológicos – BDMep do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022) e ao Sistema de Monitoramento Agrometeorológico – AGRITEMPO da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2022). As feições de uso e ocupação dos solos foram obtidas através da Coleção 7 do Projeto MapBiomas (MAPBIOMAS, 2022) e a malha viária foi obtida junto ao serviço Web VGeo do

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2022). Para melhorar a condição de compreensão e entendimento das áreas em estudo, foram adquiridas a base cartográfica contínua do Brasil com os limites administrativos, Terras Indígenas (TI) e áreas de conservação ambiental (IBGE, 2021) e a macrocaracterização

dos recursos naturais do Brasil (IBGE, 2019) (estrutura geológica, unidades de relevo, classes de solos e tipos de vegetação). No apêndice 1 são apresentados os detalhamentos das fontes e dos produtos utilizados no trabalho.

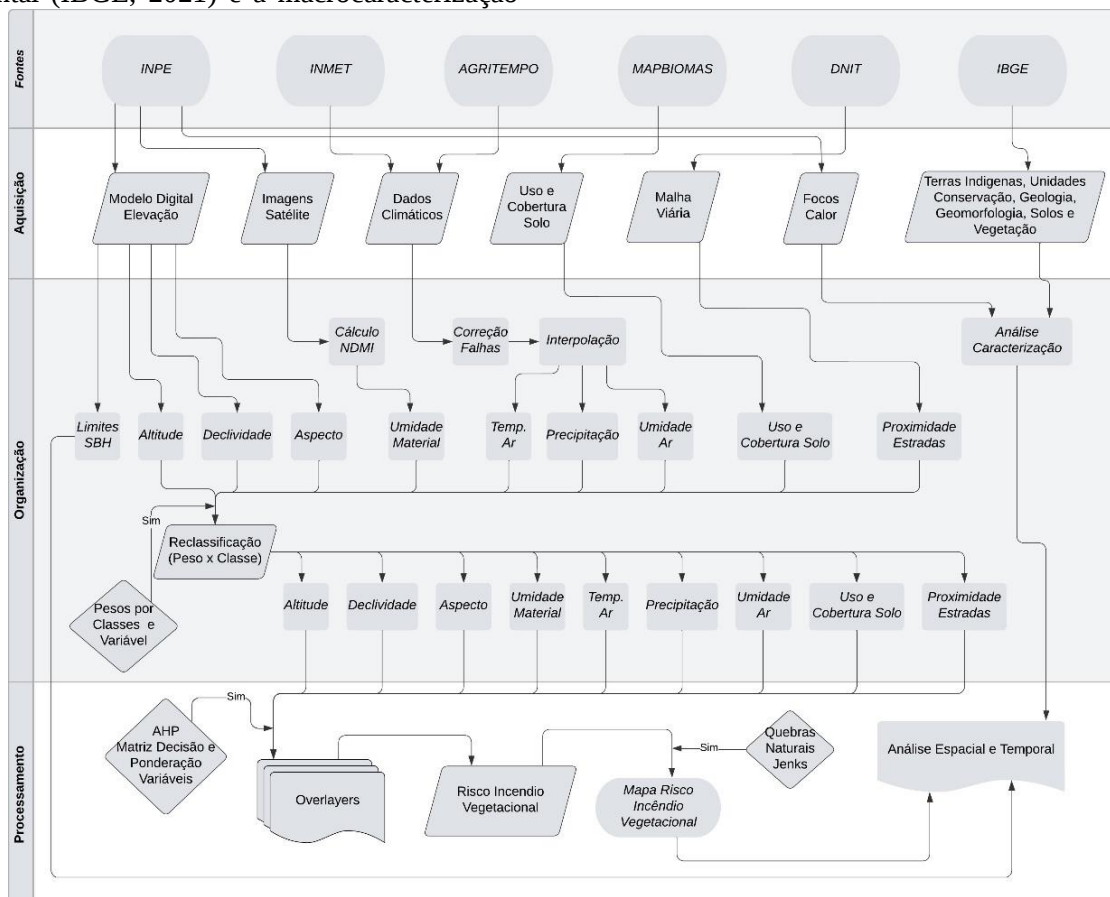


Figura 2. Fluxograma das atividades desenvolvidas.

2.3. Tratamento e organização dos dados

Os dados obtidos foram revisados e consistidos, e, posteriormente analisados no software QGIS 3.22.8. O MDE, inicialmente foi utilizado para a delimitação dos limites das bacias hidrográficas, e, posteriormente, a partir dele, foram derivadas as variáveis altitude, declividade e o aspecto (exposição das vertentes). As falhas diárias dos dados meteorológicos foram corrigidas pelo método da ponderação regional com regressão linear ou polinomial entre as três estações mais próximas; após o preenchimento de falhas, os dados foram especializados por bacia hidrográfica através de interpolação Ponderada pelo Inverso da Distância (IDW), permitindo-se obter a espacialização das variáveis precipitação, temperatura e umidade relativa do ar. A variável uso e ocupação dos solos foi utilizada conforme as classes propostas pelo Projeto MapBiomias. A malha viária permitiu a derivação da variável proximidade das estradas. A variável umidade do

material foi obtida tendo por base os comprimentos de ondas do Infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de onda curta (SWIR) das imagens do satélite Landsat 8 (Apêndice 1), através da aplicação do Índice e Umidade de Diferença Normalizada (NDMI), pela aplicação da equação:

$$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR) \quad (1)$$

em que: NDMI = índice de umidade de diferença normalizada, NIR = infravermelho próximo; SWIR = infravermelho de onda curta

2.4. Processamento dos dados

Para White et al. (2016) as variáveis a serem utilizadas para a verificação de risco de incêndios e para a elaboração de mapeamentos que busquem espacializar esse risco varia conforme a região, tanto em quantidade quanto em grau de importância. Além disso, as variáveis também podem apresentar diferenças espaciais e temporais,

demandando calibrações regionais para uma descrição mais realista dos riscos de incêndios vegetacionais.

Assim a definição das variáveis ambientais preditivas altitude, declividade, aspecto, precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, uso e ocupação dos solos, proximidade das estradas e umidade do material se deu por adequação as características ambientais das áreas, bem como, por serem utilizadas em estudos acadêmicos de caráter similares. As variáveis produzidas durante o tratamento dos dados foram reclassificadas conforme a variação da intensidade da sua condição de favorecer a ocorrência de incêndios, recebendo pesos que variam de 1 a 5, conforme o risco potencial inerente ao intervalo de valor da variável.

A altitude é uma variável ambiental que interfere no risco de incêndios vegetacionais dadas a relação que mantem com a temperatura do ar e com umidade relativa do ar. Em baixas altitudes, normalmente, verifica-se temperatura do ar maiores e umidade relativa do ar menores, diferente do verificado em altitudes mais elevadas, onde normalmente, a temperatura do ar é menor e a umidade relativa do ar é maior.

O aspecto (Exposição das vertentes) é uma variável que está diretamente ligada com a incidência de radiação solar. Soares e Batista (2007) colocam que para o hemisfério sul, as vertentes voltadas para norte são as que recebem

raios solares mais diretamente, em segundo as vertentes com as faces voltadas o oeste, seguida das faces voltadas para o leste e por fim, com menor incidência, as vertentes com faces voltadas para o sul. É importante destacar que a incidência de luz solar vai afetar diretamente a temperatura do ar, da superfície, regulando a umidade relativa do ar, bem como, a umidade do material combustível.

A declividade da vertente pode favorecer a condição de propagação de um incêndio vegetacional, em áreas planas ou em declives a propagação é mais lenta que em aclives, uma vez que, as chamas aceleram a perda de umidade do material na porção mais elevada, e também a corrente de ar quente liberada pelo fogo tende a se elevar pelo aclive auxiliando no aquecimento do material combustível e em sua perda de umidade. Na Tabela 1, são expressos os intervalos de variação de altitude, exposição das vertentes e declividade, com seus respectivos pesos e classes de risco. Em função dos valores obtidos para essas três variáveis, nas bacias hidrográficas estudadas, foi necessário adaptar as faixas de variação para as condições regionais, sendo que: i) para a altitude foram realizadas adaptações baseadas em Oliveira et al (2004) e Ribeiro et al (2008); ii) para o “aspecto”, as foram modificações as classificações propostas por Ferraz e Vettorazzi (1998), Ribeiro et al. (2008) e Eugenio et al. (2016); iii) para a “declividade”, as alterações foram baseadas nas mesmas referências das duas variáveis anteriores.

Tabela 1. Pesos das variáveis altitude, declividade e face de exposição da vertente, e suas respectivas classes de risco de ocorrência de incêndios vegetacionais, no sudeste da Amazônia

Altitude (m)	Declividade (%)	Peso	Risco	Exposição da vertente	Peso	Risco
> 1500	< 15	1	Baixo	Relevo plano,	1	Baixo
1500 a 1200	15 a 25	2	Moderado	Sudeste, sul, sudoeste	1	Baixo
1200 a 900	25 a 35	3	Alto	Leste	2	Moderado
900 a 600	35 a 45	4	Muito Alto	Nordeste	3	Alto
< 600	> 45,1	5	Extremo	Oeste, noroeste	4	Muito alto

A temperatura do ar tem relação direta com a umidade da vegetação e com sua temperatura. Assim, temperaturas do ar elevadas ocasionam e aceleram a perda da umidade do material combustível, bem como, elevam a temperatura desses materiais, o que acaba por auxiliar no processo de ignição das chamas. Em condições de ausência de precipitação, a umidade do ar acaba exercendo papel de regulação na umidade da vegetação. A vegetação recebe umidade da atmosfera quando essa está mais saturada, da mesma forma, a vegetação perde umidade para o ar quando esse está seco. Assim, em dias de baixa umidade relativa do ar o material combustível perde umidade, ficando mais seco e por

consequência, mais vulnerável a ocorrência de incêndios.

A precipitação tem importância fundamental para a ocorrência de incêndios. A ocorrência ou escassez de chuvas regulam a umidade presente no ambiente, especialmente a umidade do material combustível. Assim, a chuvas tem uma relação direta também com a condição de ocorrência da ignição dos incêndios. Sua influência varia de forma significativa na superfície e ao longo dos meses.

A Tabela 2 traz os intervalos de temperatura do ar e umidade relativa do ar, com seus pesos e intensidade do risco, sendo que as classes de variação foram adaptadas de Prudente (2010) com base nas observações dos histogramas

de frequência (Apêndice 2) de dados diários regionais para essas duas variáveis meteorológicas; para os dados de precipitação, a classificação foi

realizada com base nos histogramas dos totais mensais.

Tabela 2. Pesos das variáveis temperatura e umidade relativa do ar, e suas respectivas classes de risco de ocorrência de incêndios vegetacionais, no sudeste da Amazônia

Temperatura do ar (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	Precipitação (mm/mês)	Peso	Risco
> 20	> 60	> 100	1	Baixo
20 a 22	60 a 53	100 a 84	2	Moderado
22 a 24	53 a 46,5	84 a 67	3	Alto
24 a 26	46 a 40	67 a 50	4	Muito Alto
> 26	< 40	< 50	5	Extremo

As diferentes formas de uso e cobertura do solo acabam por guardar também diferentes graus de risco a ocorrência de incêndios. Essas diferenças espaciais nas classes de uso e cobertura do solo também sofrem mudanças ao longo do tempo, especialmente pela variação da precipitação e pela alternância no manejo das atividades agrícolas, com momentos bem marcados de preparo do solo, semeadura e colheita em função da commodity explorada (nas áreas em estudo destacam-se o cultivo em sucessão soja-milho). No início do período seco da região (maio a julho), a cultura do milho encontra-se na fase de colheita e apresenta um risco muito elevado para a ocorrência de

incêndio dado sua quantidade de matéria seca, inflamabilidade, e, sobretudo pelo tempo que fica nas lavouras aguardando a colheita e destinação em função de preços ou restrições de armazenamento. Adotou-se como referência a mesma relação entre os pesos (1 a 5) para as classes de risco (baixo a extremo) das variáveis anteriores, todavia, os pesos associados às classes de uso e cobertura do solo (Tabela 3) e suas variações ao longo dos meses do ano foram adaptadas de Eugenio et al. (2016) e de Ramalho (2021); especificamente para as “lavouras temporárias” seguiu o calendário de cultivo agrícola da região (CONAB, 2021).

Tabela 3. Pesos das classes de uso e cobertura do solo, e suas respectivas classes de risco de ocorrência de incêndios vegetacionais, no sudeste da Amazônia

Uso e cobertura do solo	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Formação Florestal	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2
Formação Savânica	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3
Silvicultura	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4
Campo Alagado e Área Pantanosa	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	0	0
Formação Campestre	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4
Pastagem	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Mosaico de Agricultura e Pastagem	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	3	3
Área Urbana	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1
Outras Áreas não vegetadas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mineração	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lavouras Temporárias (Soja e Milho)	2	2	2	3	5	5	5	1	1	1	1	1

A proximidade de estradas é um dos fatores que proporcionam risco elevado para a ocorrência de incêndios vegetacionais, uma vez, que pelas estradas ocorre a circulação de veículos e pessoas e isso pode ser fonte de ignição, seja intencional ou acidental. As estradas rurais tem um trânsito menos intenso de pessoas e veículos, mas o risco verificado nelas também é elevado uma vez, que suas margens são comumente utilizadas por pessoas para iniciarem incêndios com a finalidade de limpeza de áreas (pastagens) e supressão de vegetação. Para tanto, os pesos e classes de risco empregados nesse estudo (Tabela 4), foram adaptados de Chuvieco e Congalton (1989) e de

Eugênio et al. (2016). Na Tabela 4, são apresentadas as classes de proximidade de estradas e os pesos dos riscos.

Tabela 4. Pesos das classes de proximidade estradas, e suas respectivas classes de risco de ocorrência de incêndios vegetacionais, no sudeste da Amazônia.

Prox. Estradas	Peso	Risco
> 400	1	Baixo
400 a 300	2	Moderado
300 a 200	3	Alto
200 a 100	4	Muito Alto
< 100	5	Extremo

O teor de umidade do material combustível constitui-se no principal fator de risco para a ocorrência de incêndios vegetacionais, visto que essa variável atua como reguladora da quantidade de energia necessária para a combustão ocorrer; se o material estiver úmido a quantidade de energia para seca-lo aumenta, dificultando a ignição, todavia, se o material estiver seco, a quantidade de energia necessária para provocar a ignição diminui. Nesse estudo, para analisar a variabilidade espacial e temporal da umidade de materiais combustíveis foi utilizado o índice de Umidade de Diferença Normalizada (NDMI), proposto por Gao (1996) com a nomenclatura Normalized Difference Moisture Index (Índice de Água de Diferença Normalizada – NDWI), que indiretamente pode indicar o nível de umidade de uma superfície vegetação. Os valores para os pesos e classes de risco apresentados na Tabela 5, foram propostos com base nos padrões observados com a aplicação do NDMI e ajustados a partir de Gu et al. (2007), Gulácsi e Kovács (2015) e Leite et al. (2017).

Após as variáveis terem passado por reclassificação em função da classe de risco, elas foram hierarquizadas conforme sua importância e em conformidade com o Método Análise

Hierárquica de processos (AHP). A determinação das variáveis prioritárias, a estruturação da “Matriz de Decisão” e os coeficientes para cada variável foram calculadas através do Aplicativo Web AHP Calculator (AHP-OS) e os resultados são apresentados na Tabela 6.

Na sequência, foi realizado a análise conjunta das nove as variáveis já reclassificadas conforme seu risco potencial, através da técnica de Overlay. Esse processamento foi feito no programa Qgis 3.22.8 (calculador Raster), tomando por base os valores dos coeficientes obtidos na AHP Calculator (Tabela 6), e aplicados conforme a equação 2:

Tabela 5. Pesos das classes umidade do material, e suas respectivas classes de risco de ocorrência de incêndios vegetacionais, no sudeste da Amazônia.

Umidade Material	Peso	Risco
< 0.5	1	Baixo
0.3 a 0.5	2	Moderado
0.05 a 0.3	3	Alto
-0.2 a 0.05	4	Muito Alto
> -0.2	5	Extremo

Tabela 6. Coeficientes para o cálculo do risco potencial de ocorrência de incêndio ponderados por variável

Prioridades			Matriz de Decisão									
Variável	Prioridade (%)	Coeficiente gerado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Umidade material	31,2	0.312103	1	1	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11
Precipitação	22,2	0.222346	2	2,0	1	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12
Proximidade estradas	15,5	0.155471	3	3,0	2,0	1	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14
Uso e cobertura solo	10,8	0.107511	4	4,0	3,0	2,0	1	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17
Umidade relativa ar	7,4	0.073856	5	5,0	4,0	3,0	2,0	1	0,50	0,33	0,25	0,20
Temperatura do ar	5,1	0.050661	6	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1	0,50	0,33	0,25
Declividade	3,5	0.034995	7	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1	0,50	0,33
Aspecto	2,5	0.024722	8	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1	0,50
Altitude	1,8	0.018336	9	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1
Número de comparações = 36			Autovalor principal = 9,401									
Razão de Consistência (CR) = 3,46%			Solução de autovetor = 5 interações, delta 8,1 E-8									

$$RIV = C9 * AL + C8 * AS + C7 * DE + C6 * T + C5 * UR + C4 * US + C3 * PX + C2 * PC + C1 * UM \quad (2)$$

em que: RIV = risco incêndio vegetacional; C = coeficiente para a variável; AL = altitude; AS = aspecto; DE = declividade; T = temperatura ar; UR = umidade relativa do ar; US = uso e cobertura solo; PX = proximidade de estradas; PC = precipitação; UM = umidade material.

Posteriormente, os resultados obtidos com a sobreposição das variáveis (Overlay) foram agrupados em cinco classes pelo método das Quebras Naturais de Jenks, obtendo assim os Mapas de Risco Incêndios Vegetacionais (MRIV). Os valores e intervalos para cada classe dos MRIV foram calculados com o auxílio do software SAGA 8.2.1 e são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Classes de risco de incêndios vegetacionais no sudeste da Amazônia

Classe	Valor Mínimo	Valor Máximo
1	1.259495	1.713091
2	1.713091	2.409558
3	2.409558	3.357929
4	3.357929	4.172482
5	4.172482	4.605004

Assim, com o auxílio do Mapa de Risco Incêndios Vegetacionais (MRIV) e as informações socioambientais e dos focos de calor do BDQueimadas, procedeu-se a avaliação do risco de ocorrência de incêndios vegetacionais nas áreas das bacias hidrográficas, ao longo dos doze meses.

Resultados e discussão

3.1. Comportamento das variáveis e risco de incêndios vegetacionais

As variáveis como altitude, declividade, aspecto (exposição das vertentes) e proximidade das estradas, apresentam uma variação espacial e temporal mais estável quando comparadas com as variáveis vinculadas ao material combustível e ao clima. Logo, nas análises das influências individuais dessas variáveis, os pesos e riscos para a ocorrência de incêndio foram considerados iguais ao longo dos meses. Já as demais variáveis (temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, uso e ocupação do solo e umidade do material) tiveram seus pesos e riscos com influências mensais, independentemente da bacia hidrográfica (Apêndice 3).

A altitude nas áreas não apresenta grandes elevações, sendo a maior parte da área com altitudes inferiores aos 400m, as cotas altimétricas mais significativas não ultrapassando os 850m, conforme Figura 3. Na sub-bacia hidrográfica do

rio Culuene tem 89,98% da sua área na classe de baixo risco e outros 10,02% na classe de risco moderado, a sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura apresenta 100% da sua área na classe de risco baixo, a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco tem 97,87% de sua superfície na classe de risco baixo e outros 2,13% na classe de risco moderado.

As declividades registradas na maior porção das bacias hidrográficas (Figura 3) são inferiores a 20%, assim as superfícies variam de planas a suave onduladas. Na sub-bacia hidrográfica do rio Culuene e na do rio Comandante Fontoura tem praticamente 100% de sua área superficial na classe de risco baixo e a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco tem 88,38% de área na classe de risco baixo e 8,08% na classe de risco moderado.

Para a proximidade de estradas, na sub-bacia hidrográfica do rio Culuene 73,88% da área está na classe de risco baixo e 23,4% está distribuído entre as classes de risco alto, muito alto extremo, a sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura tem 84,59% de superfície na classe de risco baixo e outros 13,98% da área estão nas classes de alto, muito alto e extremo, a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco tem 88,08% de sua área na classe de risco baixo, e 10,80% nas classes de risco alto, muito alto e extremo (Figura 3).

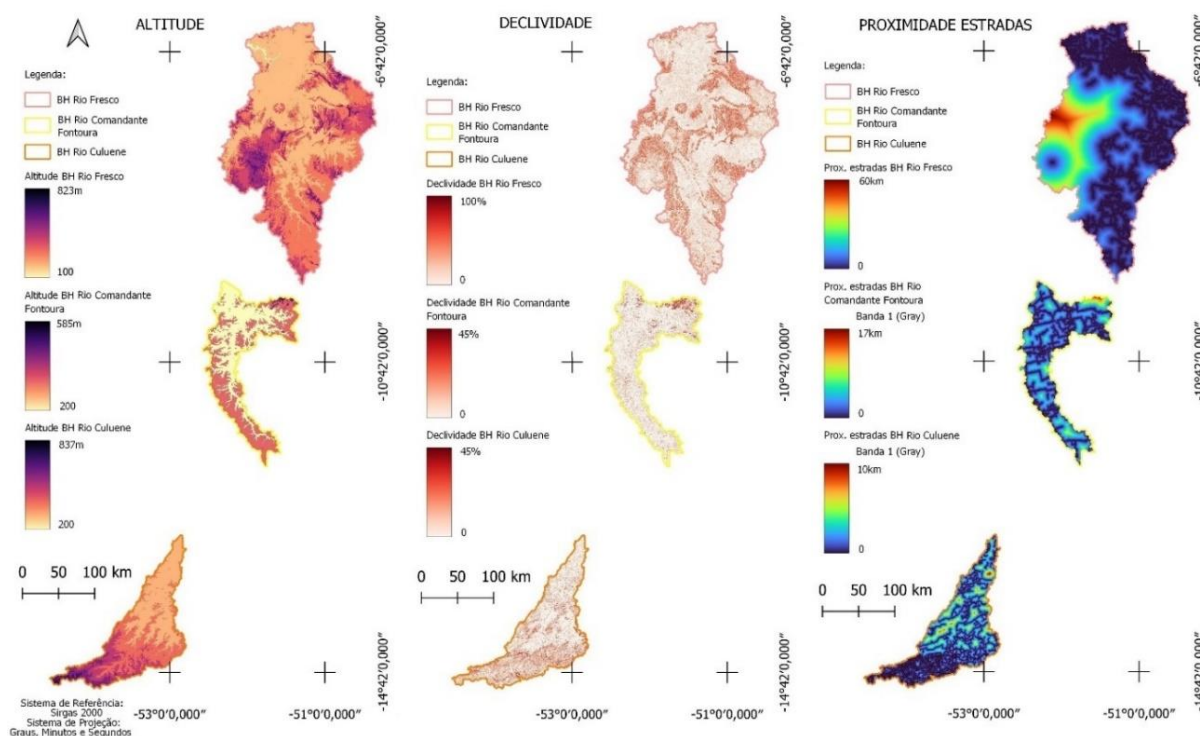


Figura 3. Risco de incêndio nas sub-bacias hidrográficas ao longo dos meses.

Quanto ao aspecto de suas vertentes as sub-bacia hidrográfica do rio Culuene, do rio Comandante Fontoura e do rio Fresco tem um comportamento semelhante, respectivamente, elas têm cerca de 40% das suas áreas na classe de risco muito alto e risco extremo, 35% na classe de risco baixo e entre 12 e 13% nas classes de risco moderado e risco alto. A temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a precipitação verificadas na sub-bacia hidrográfica do rio Culuene, do rio Comandante Fontoura e do rio Fresco, entre os anos de 2017 e 2021, apresentam valores e frequência relativamente próximos, sendo a

distinção mais perceptível entre as áreas verificada no volume precipitado que é maior na sub-bacia hidrográfica do rio Fresco, como pode ser observado na Figura 4. As variáveis temperatura e umidade relativa do ar, para as três sub-bacias, ao longo dos meses do ano, apresentam condição significativa para a ignição e propagação de incêndios (Apêndice 3). Todavia, nos meses de estiagem essas duas variáveis, juntamente com a precipitação, vêm sua condição para auxiliar na ignição e propagação de incêndios ser potencializada e se torna crítica.

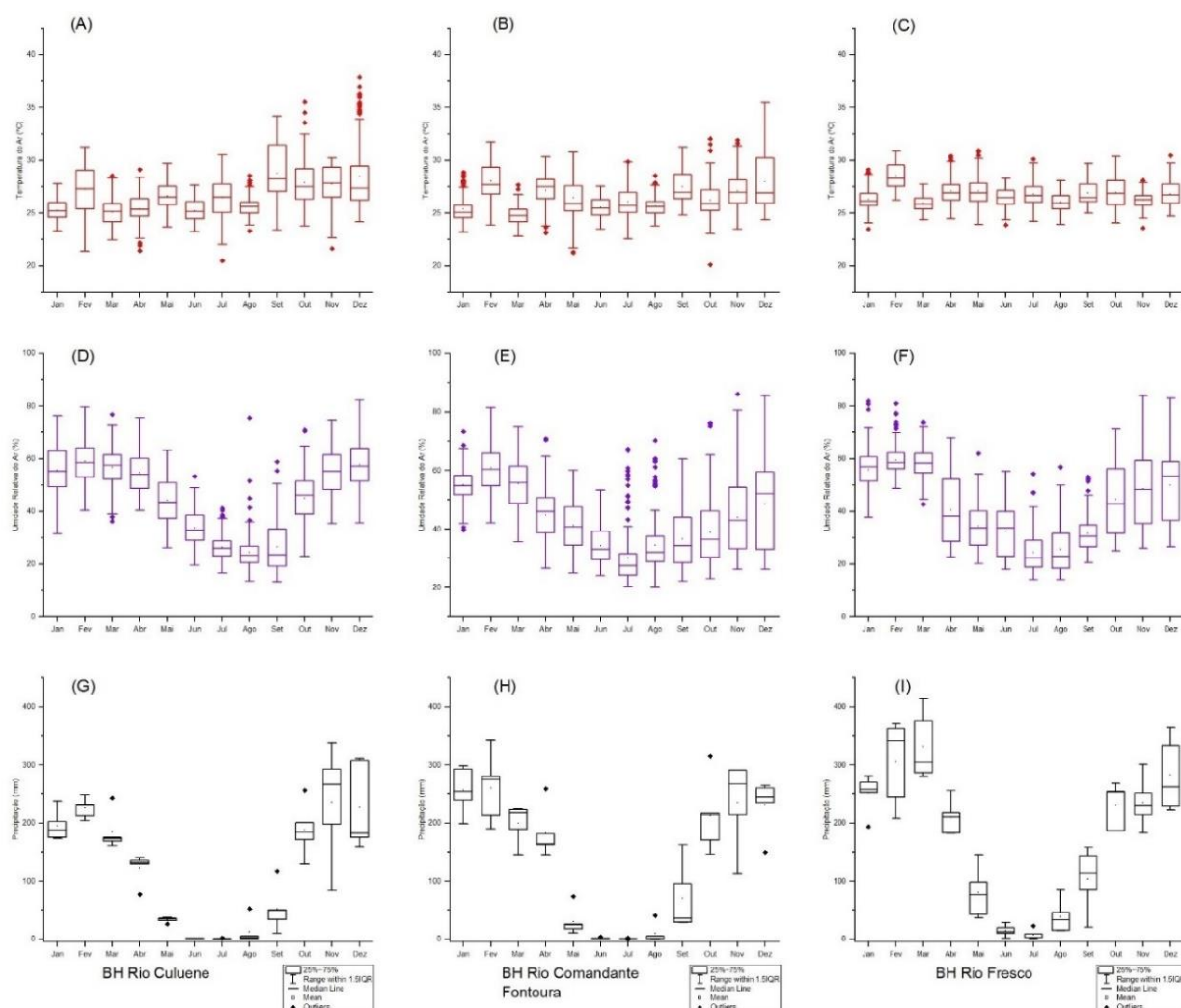


Figura 4. Box Plots de temperatura, umidade do ar e precipitação para as sub-bacias dos rios Culuene, Comandante Fontoura e Fresco.

Para a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene, a temperatura do ar média diária registrada foi de 26,65°C, sendo as máximas no mês de setembro, registrando dias com temperaturas acima dos 35°C. Na sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura a temperatura diária média registrada foi de 26,48°C,

com as máximas ocorrendo no mês de agosto, com temperaturas na casa dos 35°C. A sub-bacia hidrográfica do rio Fresco, possui temperatura diária média registrada de 26,75°C, as temperaturas máximas foram observadas em setembro, com valores próximos aos 31°C.

Para o mês de maio, a sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura apresenta 100% e a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco conta com 85,5% de sua área na classe de risco extremo. No mês de junho, as sub-bacias hidrográficas do rio Comandante Fontoura e do rio Fresco, apresentam respectivamente, 88,19% e 78,1% das áreas na classe de risco muito alto. Em julho, na sub-bacia hidrográfica do rio Culuene 51,65% da superfície é enquadrada na classe de risco muito alto, na sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura 100% e na sub-bacia hidrográfica do rio Fresco são 81,63% da área na classe de risco extremo. No mês de agosto, a sub-bacias apresentaram 100% das áreas na classe de

Para a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene, a umidade relativa do ar média diária foi de 44,92%, sendo as mínimas registradas nos meses de agosto e setembro, com valores chegando a 13,40%. Na sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura a umidade relativa do ar diária média foi de 47,54%, com os valores mínimos no mês de setembro chegando a 16,65%. A sub-bacia hidrográfica do rio Fresco, apresentou umidade relativa do ar diária média de 48,14%, com mínimas na casa de 17%, registradas nos meses de agosto e setembro.

Conforme os valores registrados para a umidade relativa do ar, no mês de junho, a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene tem 100%, a sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura 93,5% e a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco conta 79,35% da área está na classe de risco extremo. Nos meses de julho, agosto e setembro, nas sub-bacia hidrográfica do rio Culuene, do rio Comandante Fontoura e do rio Fresco 100% das áreas estão na classe de risco extremo.

Para a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene, a precipitação média mensal foi de 122,89mm, mas, a média do acumulado de chuvas entre os meses de maio e setembro foi de apenas 19,62mm, sendo que em julho o acumulado médio foi de 0,57mm. A condição para a sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura é semelhante, com média mensal de 140,71mm e acumulado médio para os meses de estiagem de 22,31mm, o mês de julho registrou média de somente 0,58mm. Das três sub-bacias analisadas, a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco possui o maior volume de chuvas, com uma média mensal de 173,94mm, sendo o registro de acumulado médio para os meses de seca de 48,53mm, sendo o menor registro realizado em julho com 7,08mm de chuva (acumulado médio).

Em maio, de acordo com os volumes precipitados, a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene tem 100% e a sub-bacia hidrográfica do

risco extremo. Em setembro, a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene e a sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura contam com 100% e a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco apresenta 92,83% da sua superfície na classe de risco extremo. Em outubro, novamente as três sub-bacias voltam a apresentar 100% das áreas na classe de risco extremo. No mês de novembro, a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene tem 77,73% e a sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura conta com 100% das áreas na classe de risco muito alto, a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco apresenta 100% da área na classe de risco extremo.

rio Comandante Fontoura conta com 93,93% da sua área na classe de risco extremo. Nos meses de junho e julho, a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene, sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura e a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco apresentam 100% das suas superfícies na classe de risco extremo. No mês de agosto, na sub-bacia hidrográfica do rio Culuene e na sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura 100% das áreas estão na classe de risco extremo, já a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco conta com 97,28% da área nessa classe de risco.

As formas e percentuais de uso e ocupação dos solos, nas sub-bacias hidrográficas, para o ano de 2021, são apresentadas na Figura 5 e na Tabela 8. Na sub-bacias hidrográfica do rio Culuene 43,05% do total da área é ocupada pela Formação Savânica, 20,34% são utilizados por pastagens e 10,79% são destinados ao cultivo sucessivo das commodities soja e milho e outros 10,64% da área ainda abrigam a Formações Florestais. Na sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura, a Formação Florestal ocupa 41% do total da área, 38,33% são destinadas as pastagens e 16,03% é ocupado por lavouras de soja e milho. Por sua vez, a sub-bacias hidrográfica do rio Fresco apresenta 59,56 de sua superfície com cobertura da Formação Florestal e 33,43% destina-se a pastagem, áreas de destinadas as plantações de soja e milho, ainda são incipientes, representam apenas 0,31% do total, todavia nas áreas a sudeste da sub-bacia, mais próximas do eixo da BR-158, já se nota um crescimento expressivo da área ocupada por essas commodities.

As condições e formas de usos e cobertura do solo, sofrem alterações ao longo dos meses do ano, assim, os pesos e o risco apresentados por essa variável, também sofre oscilações, sendo mais significativos entre os meses de maio a outubro. A sub-bacia hidrográfica do rio Culuene, para os meses de maio, junho e julho, apresenta 44,52% da sua extensão na classe de risco extremo e 43,05%

na classe de risco muito alto, a sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura apresenta 54,93% da sua superfície na classe de risco extremo e 41% na classe de risco alto, na sub-bacia hidrográfica do rio Fresco 59,57% da área está classe de risco alto e 38,49% na classe de risco extremo. Nos meses de agosto, setembro e outubro, na sub-bacia hidrográfica do rio Culuene observa-

se 43,05% da superfície na classe de risco muito alto e 33,83% estão na classe de risco extremo, na sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura 38,90% de seus limites estão na classe de risco extremo e 41% na classe de risco alto, a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco conta com 59,57% da sua extensão na classe de risco alto e 38,41% estão na classe de risco extremo.

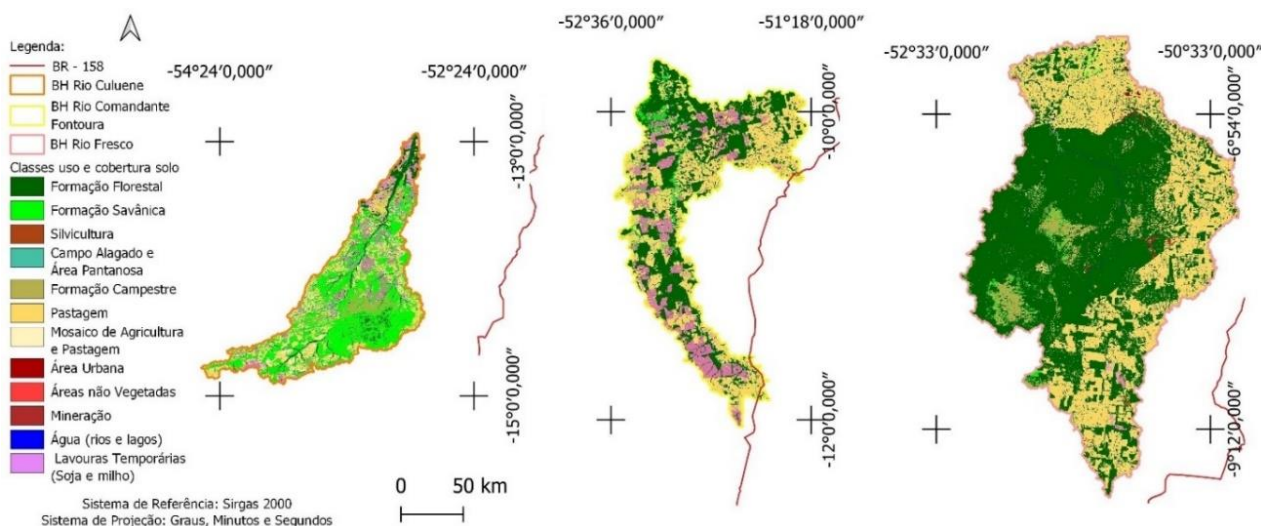


Figura 5. Classes de usos e ocupação do solo nas sub-bacias dos rios Culuene, Comandante Fontoura e Fresco.

Tabela 8. Percentual de área em diferentes classes de uso e cobertura do solo nas bacias hidrográficas dos rios Culuene, Comandante Fontoura e Fresco, no sudeste da Amazônia.

Uso e cobertura do solo	BH rio Culuene		BH rio Comandante Fontoura		BH rio Fresco	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Área Urbana	0,41	0,00	2,03	0,01	31,57	0,07
Mineração	0,75	0,01	0,00	0,00	180,58	0,41
Silvicultura	38,33	0,28	0,75	0,01	22,58	0,05
Água (rios e lagos)	47,47	0,35	31,32	0,23	98,12	0,22
Outras Áreas não vegetadas	55,29	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
Campo Alagado e Área Pantanosa	139,48	1,02	45,57	0,33	23,37	0,05
Formação Campestre	695,97	5,08	78,51	0,58	517,98	1,18
Mosaico de Agricultura e Pastagem	1099,02	8,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Formação Florestal	1456,89	10,64	5587,81	41,00	26095,85	59,56
Lavouras Temporárias (Soja e Milho)	1476,30	10,79	2184,91	16,03	133,89	0,31
Pastagem	2784,84	20,34	5224,46	38,33	14647,40	33,43
Formação Savânica	5893,40	43,05	474,30	3,48	2059,54	4,70

A umidade do material combustível é a variável de maior importância para o surgimento de ignição e propagação de incêndios vegetacionais, a Figura 6 expõe como ocorre a variação espacial da umidade do material combustível entre as sub-bacias para os meses de julho e dezembro.

Nos meses de junho, julho e agosto, a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene possui 95,75% da área na classe de risco muito alto, por sua vez, a sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura apresenta 59,93% da sua superfície na

classe de risco muito alto e 40,06% da área na classe de risco alto, a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco conta com 50,29% da sua área na classe de risco muito alto e 49,55% está na classe de risco alto. Em setembro, na sub-bacia hidrográfica do rio Culuene 94,74% da superfície está na classe de risco muito alto, na sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura observa-se 66,07% da área na classe de risco muito alto e 33,18% está na classe de risco alto, já a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco possui 51,5% da sua superfície na classe

de risco muito alto e 47,51% da área está na classe de risco alto.

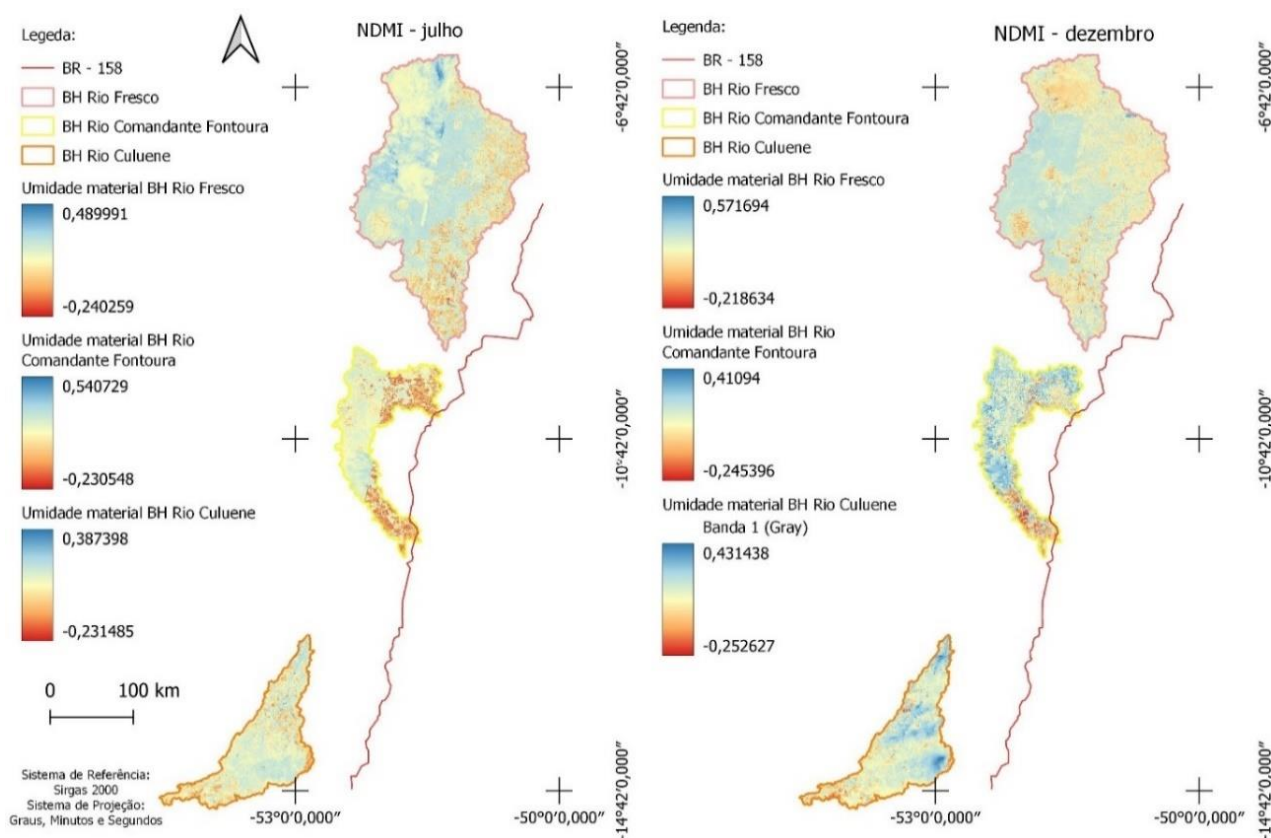


Figura 6. Umidade do material nas sub-bacias dos rios Culuene, Comandante Fontoura e Fresco.

3.2. Riscos de ocorrência de incêndios vegetacionais

O mapeamento de risco alcançado é fruto da relação estabelecida entre as nove variáveis elencadas no estudo através da técnica de overlay. Nos meses de outubro a abril, na estação chuvosa, os riscos de incêndio verificados são menores que os dos meses de maio a setembro, na estação seca. Também se verifica que quanto mais ao sul, mais intensos são os riscos de incêndio. No apêndice 4 é apresentado de forma detalhada os valores para os riscos por classe e por sub-bacia.

A sub-bacia hidrográfica do rio Culuene, tem os riscos de incêndio consideráveis durante todo o ano (Tabela 9 e Figura 7). Nos meses de novembro a março, os riscos são um pouco menos intensos, uma vez que, acontece uma divisão na condição de distribuição espacial do risco. No mês de abril já ocorre uma ampliação das áreas com risco de incêndio, bem como, da intensidade do risco, e entre os meses de maio a setembro os riscos de incêndio na área são bastante intensos e de grande abrangência espacial. No mês de outubro ocorre uma pequena redução na intensidade dos riscos e igualmente uma pequena redução na área de riscos mais intensos.

No mês de janeiro, a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene possui 67,15% do total da sua área na classe de risco alto e 32,63% da área na classe de risco moderado. Em abril 75,68% da área já se enquadra na classe de risco alto e apenas 22,84 da área ainda está na classe de risco moderado. No mês de maio 88,87% da área da sub-bacia tem risco para ocorrência de incêndio na classe muito alto e outros 6,11% ficam na classe de risco extremo. Nos meses seguintes esse quadro permanece, em junho 86,84% da área apresenta risco classe muito alto e 9,84% da área tem risco na classe extremo. Em julho o risco de incêndio tem 85,69% da área na classe de risco muito alto e 11,47% da área na classe de risco extremo. Agosto apresenta 82,49% da área na classe de risco muito alto e 10,93% na classe de risco extremo e em setembro 83,62% da área da sub-bacia está na classe de risco muito alto e outros 12,74% apresentam risco na classe de risco extremo. No mês de outubro a área da sub-bacia com risco extremo e muito alto diminui, 76,51% da área fica na classe de alto risco e 21,11% apresenta risco na classe moderado. No mês de dezembro a área com risco na classe alto fica com 50,14% do total da sub-bacia e 49,68% da área apresenta risco

moderado, sendo o percentual verificado para a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene.

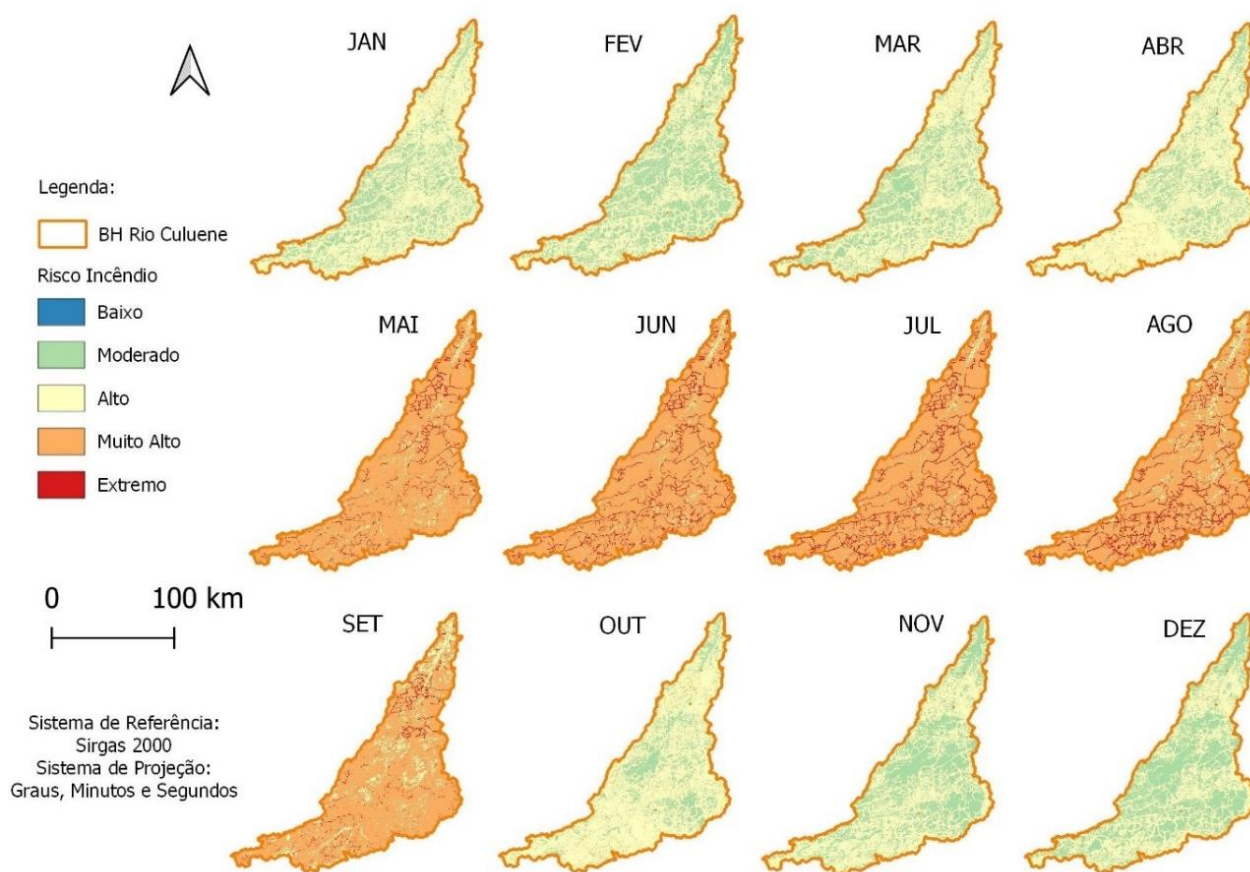


Figura 7. Risco de incêndio na sub-bacia hidrográfica do rio Culuene para 2021.

A sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura, como pode ser visto Tabela 9 e Figura 8, apresenta risco para a ocorrência de incêndios durante os doze meses do ano. Mas, no período de novembro a abril, o total de áreas classificadas com risco moderado situam-se na casa de 60% do total. No mês de maio, ocorre uma intensificação do grau de risco e uma ampliação dessas áreas de risco, essa situação de intensificação do risco e ampliação das áreas susceptíveis estende-se até o mês de agosto, já setembro e outubro apresentam uma condição de transição, com uma sutil redução dos riscos de incêndio em setembro que se torna mais perceptível no mês de outubro.

Os meses de novembro a abril, na sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura, a condição de classificação das áreas ao risco de incêndio é muito semelhante, em média, nesse período 61,51% da área da sub-bacia apresenta risco na classe moderado e 38,36% da área está na classe de risco alto. No mês de maio o panorama

muda, 58,7% da área da sub-bacia tem risco na classe muito alto, 39,27% na classe alto e ainda 2,03% na classe de risco extremo, em junho a área classificada como de risco muito alto é de 67,73% do total, 27,52% apresenta risco na classe alto e 4,75% da superfície da sub-bacia tem risco na classe extremo. Em julho a área conta com 67,22% do total na classe de risco muito alto, 26,82% na classe de risco alto e outros 5,96% na classe de risco extremo. No mês de agosto 60,73% da área está na classe de risco muito alto, 34,9% na classe de risco alto e 4,38% na classe de risco extremo. Setembro apresenta uma leve redução na intensidade do risco na sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura, 80,42% da área estão na classe de risco alto, 14,1% na classe muito alto, 5,34% classificados com risco moderado e uma fração de 0,13% com risco extremo. Em outubro, 56,9% tem classificação de risco alto, 41,89% na classe de risco moderado e 1,21% da área na classe de risco muito alto.

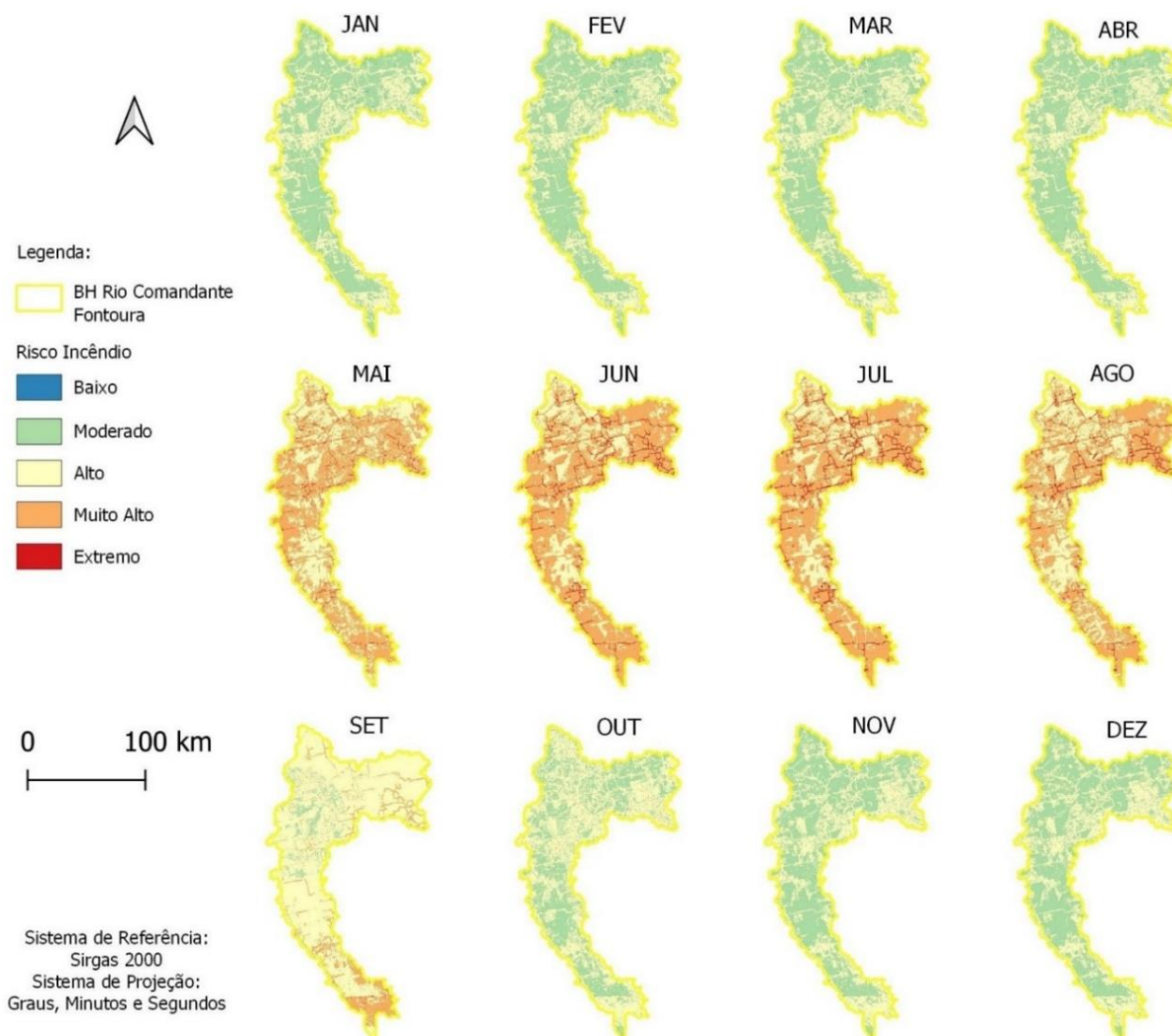


Figura 8. Risco de incêndio na sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura para 2021.

De maneira geral, a sub-bacia hidrográfica do rio Fresco apresenta riscos de incêndio menos intensos, quando comparada com a sub-bacia hidrográfica do rio Culuene e com sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura, mesmo nos meses de seca, quando os riscos de ocorrência de incêndio sobem de forma significativa, como pode ser avaliado na Tabela 9 e Figura 9. A sub-bacia também exemplifica bem a condição de importância para as formas de uso e ocupação do solo, na sua porção central, onde a vegetação nativa é preservada a intensidade dos riscos é menor que no entorno apropriado para atividades agropastoris.

Nota-se que na sub-bacia hidrográfica do rio Fresco os riscos são menos intensos nos meses de outubro a abril, e um condição transitória pode ser verificada nos meses de maio e setembro, quanto os riscos de incêndio crescem mais ainda não são tão intensos como nos meses de junho, julho e agosto.

Nos meses chuvosos, de outubro a abril a área apresenta uma média de 67,09% do total na classe de risco moderado e 31,94% da área com risco alto. Em maio as áreas com risco na classe alto sobem para 87,52% do total, 10,12% na classe de risco muito alto e 2,33% permanecem na classe de risco moderado. Em junho ocorre um aumento das áreas com riscos mais intensos, 51,67% da área da sub-bacia apresenta risco na classe muito alto, 44,16% na classe de risco alto e outros 4,18% na classe de risco extremo. No mês de julho 53,17% da área tem risco na classe muito alto, 41,94% na classe de risco alto e ainda 4,89% na classe de risco extremo. Em agosto, 52,92% da área da sub-bacia tem risco na classe muito alto, 42,24% está na classe de risco alto e 4,84% na classe de risco extremo. Já no mês de setembro 77,88% da superfície da sub-bacia hidrográfica do rio Fresco tem risco na classe alto, 15,69% tem risco na classe moderado e 6,43% tem risco na classe muito alto.

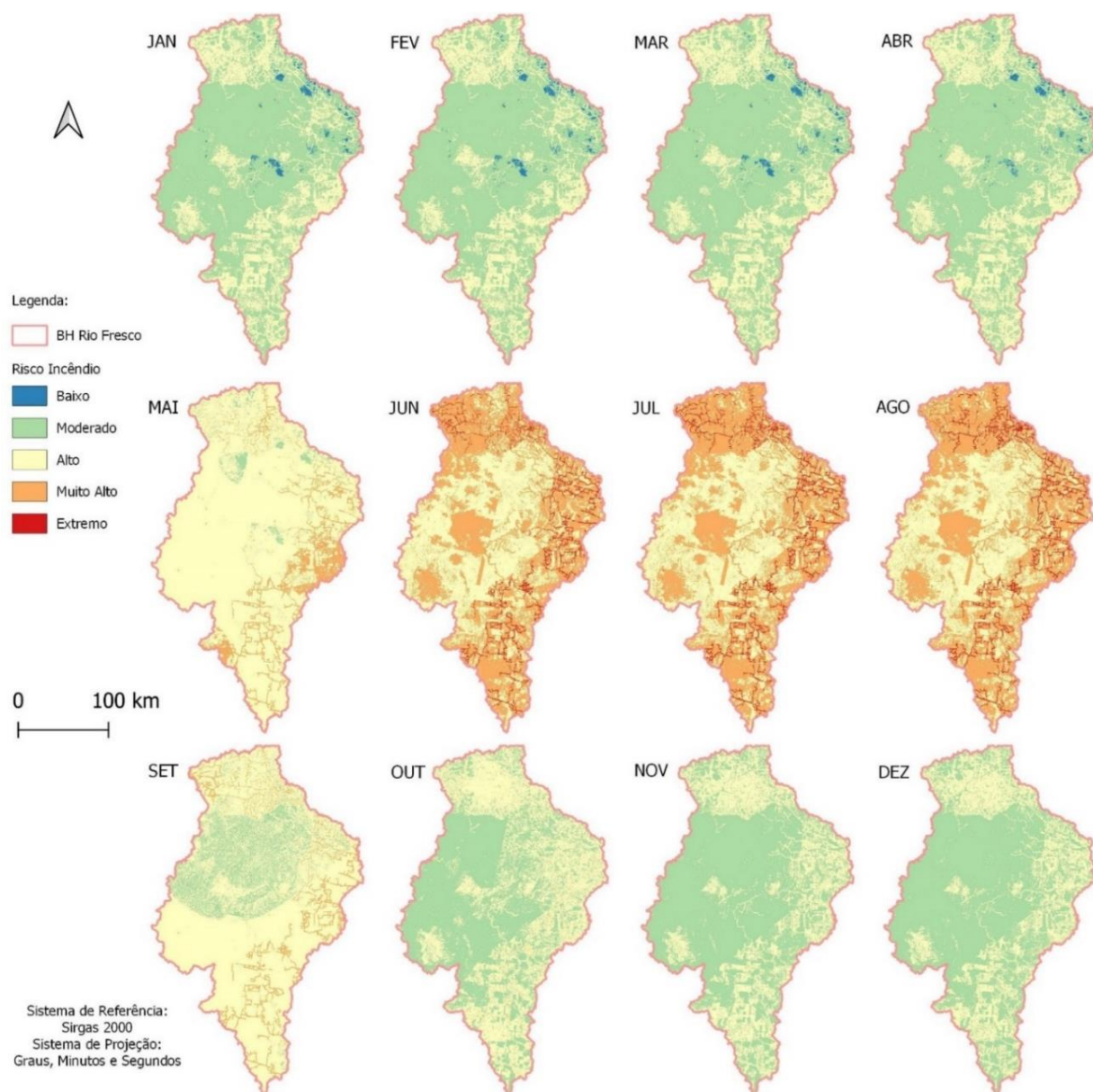


Figura 9. Risco de incêndio na sub-bacia hidrográfica do rio Fresco para 2021.

Tabela 9. Percentual de área em diferentes classes de risco de incêndio vegetacionais nas bacias hidrográficas dos rios Culuene, Comandante Fontoura e Fresco, no sudeste da Amazônia.

BH (rios)	Classe Risco	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Culuene	Baixo												
	Moderado	32,63	47,12	37,18	22,84						21,11	44,88	49,68
	Alto	67,15	52,88	62,63	75,68	5,02	3,32	2,84	6,58	12,74	76,51	54,91	50,14
	Muito alto	0,23		0,18	1,47	88,87	86,84	85,69	82,49	83,62	2,38	0,21	0,17
	Extremo					6,11	9,84	11,47	10,93	3,63			
Comandante Fontoura	Baixo	0,1	0,16	0,1	0,11						0,01	0,01	
	Moderado	62,41	64,04	62,41	63,09					5,34	41,89	57,82	59,28
	Alto	37,49	35,8	37,49	36,79	39,27	27,52	26,82	34,9	80,42	56,9	41,91	40,71
	Muito alto					58,7	67,73	67,22	60,73	14,1	1,21	0,25	0,01
	Extremo					2,03	4,75	5,96	4,38	0,13			
Fresco	Baixo	1,42	1,44	1,44	1,26							0,04	0,08
	Moderado	69,03	70,43	70,13	69,13	2,33				15,69	54,27	68,08	68,53
	Alto	29,52	28,13	28,43	29,59	87,52	44,16	41,94	42,24	77,88	44,87	31,75	31,31
	Muito alto	0,03			0,03	10,12	51,67	53,17	52,92	6,43	0,85	0,13	0,09
	Extremo					0,04	4,18	4,89	4,84				

3.3. Risco de ocorrência de incêndios vegetacionais e a ocorrência de focos de calor

Os focos de calor registrados na sub-bacia hidrográfica do rio Culuene apresentados na Tabela 10 e na Figura 10, demonstram a concentração da ocorrência de queimadas nos meses de junho a setembro, sendo em agosto registrados uma média

de 290,6 focos de calor no período de 2017 a 2021. A Figura 10, também evidencia uma concentração espacial na ocorrência dos focos de queimada na região sudeste da sub-bacia, no território da Terras Indígenas (TI) Parabubure, Ubawawe e Chão Preto e nas áreas circunvizinhas.

Tabela 10. Número de focos de calor nas bacias hidrográficas dos rios Culuene, Comandante Fontoura e Fresco, no sudeste da Amazônia.

BH (rios)	Meses	Focos calor X ano					Total mês	Média mês	Focos calor (%) X classe de risco mapeada				
		2017	2018	2019	2020	2021			baixo	moderado	alto	muito alto	Extremo
Culuene	Jan	1	1	2	0	12	16	3,2		25	56,25	18,75	
	Fev	1	0	7	17	2	27	5,4		55,56	44,44		
	Mar	6	9	12	9	8	44	8,8		38,64	61,36		
	Abr	8	4	9	9	17	47	9,4		42,55	57,45		
	Mai	7	9	17	19	21	73	14,6			4,11	86,3	9,59
	Jun	31	29	45	32	55	192	38,4				84,9	15,1
	Jul	98	104	87	73	88	450	90			0,67	82,89	16,44
	Ago	283	241	224	459	246	1453	290,6			0,28	89,95	9,77
	Set	323	263	188	347	157	1278	255,6			5,01	93,43	1,56
	Out	7	11	25	26	0	69	13,8	10,14	85,51	4,35		
	Nov	14	1	8	13	4	40	8	27,5	67,5	5		
	Dez	1	7	4	7	6	25	5	40	60			
	Total ano	780	679	628	1011	616							
Comandante Fontoura	Jan	10	14	5	13	12	54	10,8		59,26	40,74		
	Fev	3	6	29	14	18	70	14		71,43	28,57		
	Mar	7	14	23	30	13	87	17,4		48,28	51,72		
	Abr	16	10	15	16	14	71	14,2		46,48	53,52		
	Mai	20	25	64	46	50	205	41			25,85	70,73	3,41
	Jun	96	59	72	92	166	485	97			18,14	74,23	7,63
	Jul	110	78	65	38	48	339	67,8			14,45	74,04	11,5
	Ago	198	64	101	58	38	459	91,8			10,24	80,39	9,37
	Set	143	59	149	213	79	643	128,6	1,4	71,7	26,44	0,47	
	Out	155	86	62	83	35	421	84,2	20,67	78,38	0,95		
	Nov	15	15	38	43	9	120	24	43,33	56,67			
	Dez	10	18	9	11	6	54	10,8	27,78	72,22			
	Total ano	783	448	632	657	488							
Fresco	Jan	2	3	0	0	6	11	2,2	45,45	54,55			
	Fev	0	0	3	0	1	4	0,8	25	75			
	Mar	0	3	0	0	1	4	0,8	25	75			
	Abr	0	0	0	0	0	0	0					
	Mai	5	2	2	0	1	10	2			60	40	
	Jun	27	26	9	5	10	77	15,4			9,09	67,53	23,38
	Jul	94	22	39	36	36	227	45,4			7,93	79,3	12,78
	Ago	487	156	418	155	137	1353	270			12,49	80,04	7,46
	Set	1808	252	321	1321	243	3945	789	3,68	87,63	8,69		
	Out	202	80	47	214	29	572	114,4	12,94	85,84	1,22		
	Nov	11	13	19	18	9	70	14	24,29	75,71			
	Dez	3	5	9	8	1	26	5,2	26,92	73,08			
	Total ano	2639	562	867	1757	474							

Com a sobreposição dos focos de calor (Figura 10) registrados no período ao mapeamento de risco de incêndio observa-se que no mês maio 86,3% dos focos de calor aconteceram em áreas de risco classificados como muito alto e 9,59% em áreas de risco classificado como extremo, já em

junho 84,9% foram em áreas da classe de risco muito alto e 15,1% foram sobre áreas classificadas como de risco extremo, em julho 82,89% aconteceram em áreas de classe risco muito alto e 16,44% em áreas de risco considerado extremo, no mês de agosto 89,95% dos focos de calor

ocorreram em áreas classificadas como de muito alto risco para a ocorrência de incêndio e outros 9,77% dos focos foram registrados em áreas de risco classificado como extremo. Para os meses chuvosos, a ampla parte dos focos ocorreu em áreas

classificadas no mapeamento como de risco alto, na Tabela 10 é apresentado um detalhamento dos focos de calor em relação a classe de risco do local onde ocorreram.

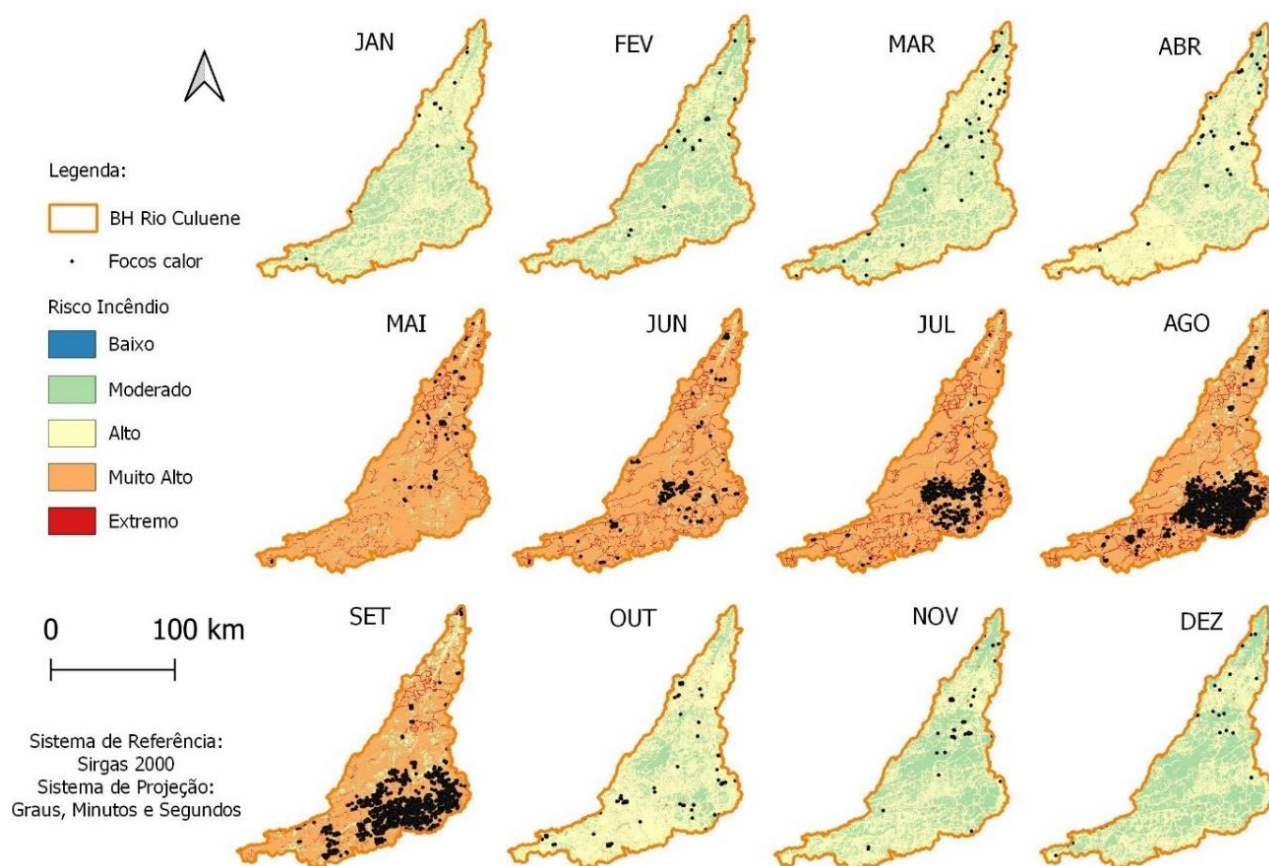


Figura 10. Risco de incêndio e focos de calor na sub-bacia hidrográfica do rio Culuene para 2021.

A sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura apresenta a ocorrência de focos de calor concentrados entre os meses de maio e outubro, com o maior número de ocorrências acontecendo no mês de setembro, quando foram registrados em média de 128,6 focos de calor, conforme pode ser observado na Tabela 10 e na Figura 11.

Ao analisar a distribuição dos focos de calor pela área da sub-bacia, com o auxílio da Figura 11, percebe-se que existem ao menos duas áreas de adensamento dos focos de calor, uma no extremo sul, na Terra Indígena TI Maraiwatsede e entono e outra na porção norte da sub-bacia, ao centro a ocorrência são menos perceptíveis.

Os focos de calor registrados nos meses de maio, junho e julho, como ressaltado na Tabela 10, ocorreram em mais de 70% em áreas classificadas como de risco muito alto para a ocorrência de incêndio e de 3,41 a 11,5% em áreas enquadradas na classe de risco extremo. Para o mês de setembro,

80,39% dos focos foram em áreas da classe de risco muito alto e 9,37% em áreas de risco extremo, no mês de setembro 71,7% dos focos de calor ocorreram em áreas da classe de risco alto e outros 26,44% dos focos foram registrados em áreas de risco muito alto. Para os meses chuvosos, na sub-bacia, os focos ocorreram de forma mais equilibrada em áreas da classe de risco moderado e áreas da classe de risco alto (Tabela 10).

Ao se avaliar a Tabela 10 e a Figura 12, verifica-se que na sub-bacia hidrográfica do rio Fresco, a ocorrência de focos de calor está concentrada nos meses de agosto, setembro e outubro, sendo o mês de setembro, com a média de 789 focos de calor o maior número de registros. Os focos de calor na sub-bacia têm uma distribuição espacial concentrada numa faixa que se estende do norte ao sul, passando pela porção leste da bacia e numa parte adensada mais ao centro área, na Terra Indígena (TI) Kayapó.

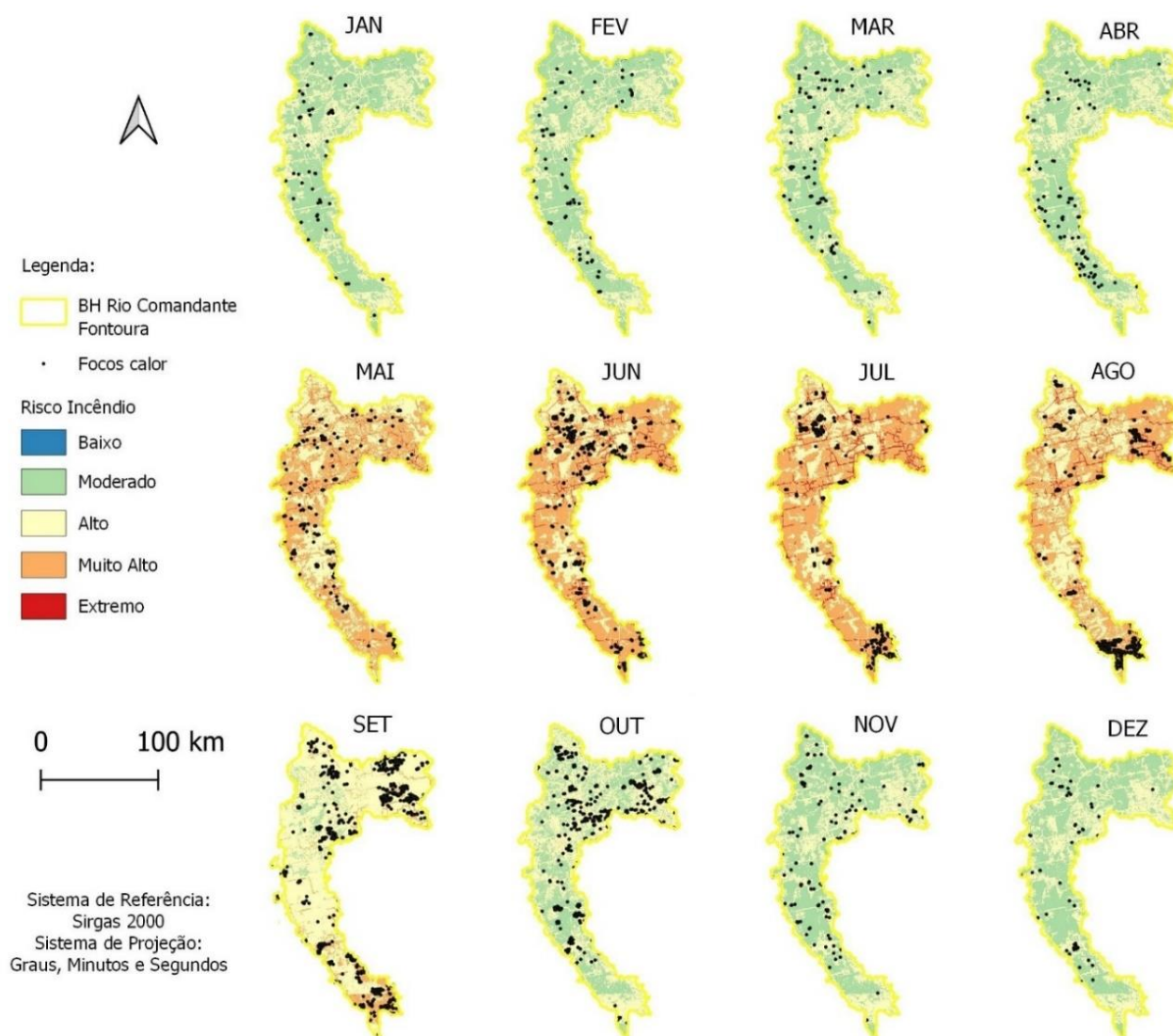


Figura 11. Risco de incêndio e focos de calor na sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura para 2021.

Na sub-bacia, no mês de maio 60% dos focos de calor aconteceram em áreas da classe risco alto e 40% em áreas da classe de risco muito alto, em junho 67,53% dos focos de calor foram registrados em área pertencente a classe de risco muito alto e outros 23,38% em áreas da classe de risco extremo, já em julho 79,3% dos focos de calor aconteceram em áreas da classe de risco muito alto e outros 12,78% em áreas de risco extremo, no mês

de agosto o quadro ficou semelhante ao de julho, sendo que 80,04% dos focos de calor foram registrados em áreas da classe de risco muito alto e 7,46% na classe de risco extremo, em setembro 87,63% dos focos de calor foram em áreas da classe de risco alto e outros 8,69% na classe de risco extremo. No período chuvoso, como poder ser visto, na Tabela 10, a ampla ocorrência dos focos de calor foi sobre áreas da classe de risco alto.

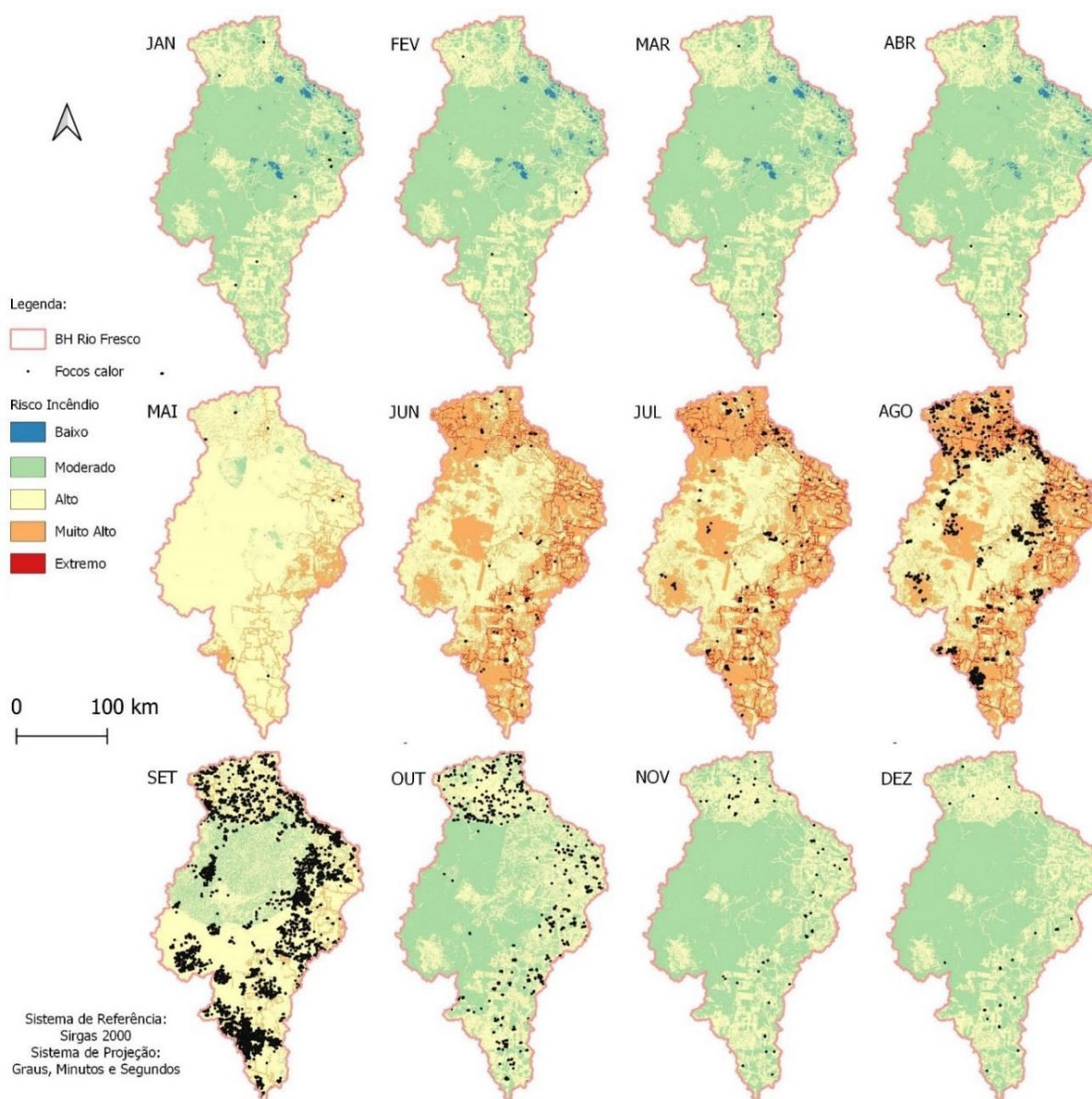


Figura 12. Risco de incêndio e focos de calor na sub-bacia hidrográfica do rio Fresco para 2021.

Conclusões

As variáveis empregadas de forma conjunta e hierarquizada através da aplicação do método Análise Hierárquica de Processos são adequadas para expressar as classes de risco para a ocorrência de incêndios em bacias hidrográficas dos biomas Cerrado e Amazônia, e nos ecótonos de transição.

Na bacia hidrográfica do rio Culuene, o período com maiores riscos de ocorrência de incêndios vegetacionais está compreendido entre os meses de maio a setembro, enquanto que nas demais bacias hidrográficas ocorre uma redução do número de meses com risco muito alto ou extremo; essa condição está associada com o uso e ocupação do solo em cada bacia hidrográfica.

O mapeamento de risco de incêndio proposto apresenta altas correlações com focos de calor, com ocorrência mínimo de 96,32% de focos

de calor registrados em áreas diagnósticas nas classes de risco alto, muito alto ou extremo.

Por fim, dadas as características mutáveis das variáveis utilizadas, é necessário um monitoramento periódico dos riscos de incêndios vegetacionais para as bacias hidrográficas amazônicas ou da transição Cerrado-Amazônia, visto que podem ser ótimas ferramentas para subsidiar ações de prevenção e controle de incêndios vegetacionais.

Agradecimentos

Os autores externam agradecimentos à Universidade do Estado do Pará – UEPA pela concessão de Bolsa Estadual de Pós-Graduação (Portaria n. 808/20 de 06/03/2020) ao primeiro autor. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio com a bolsa produtividade em pesquisa do segundo autor

(Processo 308784/2019-7) e do terceiro autor (Processo 305938/2019-3). Os autores também manifestam seu agradecimento à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela disponibilização de dados utilizados na pesquisa.

Referências

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.D.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Amorim, R.R., de Oliveira, R.C., 2013. Zoneamento ambiental, subsídio ao planejamento no uso e ocupação das terras da Costa do Descobrimento. *Mercator-Revista de Geografia da UFC*, 12(29), 211-231. DOI: <https://doi.org/10.4215/RM2013.1229>. 0014.
- 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. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rarv/a/B9dwZvwjZ3JxDcfm5HJyyBx/>>
- Batista, A.C., 2000. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. *Floresta*, 30(1/2). DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v30i12.2328>
- Bowman, D.M.J.S., 2023. Detecting, monitoring and foreseeing wildland fire requires similar multiscale viewpoints as meteorology and climatology. *Fire*, v. 6, n. 4, p. 160. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6040160>
- Cammelli, F., Angelsen, A., 2019. Amazonian farmers' response to fire policies and climate change. *Ecological Economics*, 165, e106359. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106359>
- Carta, F., Zidda, C., Putzu, M., Loru, D., Anedda, M., Giusto, D., 2023. Advancements in forest fire prevention: a comprehensive survey. *Sensors*, v. 23, n. 14, p. 6635, DOI: <https://doi.org/10.3390/s23146635>
- Carvalho Antunes, C., Viegas, D.X., Mendes, J.M., 2011. Avaliação do Risco de Incêndio Florestal no Concelho de Arganil. *Silva Lusitana*, 19(2), 165-179. Disponível em: <<https://scielo.pt/pdf/slu/v19n2/v19n2a03.pdf>>.
- Caúla, R.H., Oliveira-Júnior, J.F., Lyra, G.B., Delgado, R.C., Heilbron Filho, P.F.L., 2015. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. *Environmental Earth Sciences*, 74, 1497-1508. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4142-z>
- Chuvieco, E., Congalton, R.G., 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing of Environment*, 29(2), 147-159. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90023-0)
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento, 2021. Calendário de plantio e colheita de grãos no Brasil 2020 – Safra 2020/2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes/item/15406-calendario-agricola-plantio-e-colheita>>.
- Davies, H.F., Visintin, C., Murphy, B.P., Ritchie, E.G., Banks, S.C., Davies, I.D., Bowman, D.M., 2023. Pyrodiversity trade-offs: A simulation study of the effects of fire size and dispersal ability on native mammal populations in northern Australian savannas. *Biological Conservation*, v. 282, p. 110077. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110077>
- Di Virgilio, G., Evans, J.P., Blake, S.A., Armstrong, M., Dowdy, A.J., Sharples, J., Mcrae, R., 2019. Climate change increases the potential for extreme wildfires. *Geophysical Research Letters*, v. 46, n. 14, p. 8517-8526. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019GL083699>
- Diakakis M, Nikolopoulos EI, Mavroulis S, Vassilakis E, Korakaki E., 2017. Observational evidence on the effects of mega-fires on the frequency of hydrogeomorphic hazards. The case of the Peloponnese fires of 2007 in Greece. *Sci Total Environ*. Aug 15; 592:262-276. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.070
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes., 2022. Vgeo: Visualizador de Informações Geográficas. Malha viária dos estados e do Brasil. Disponível em: <<https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>>.
- Doerr, S.H., Santín, C., 2016. Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 371, n. 1696, p.1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0345>
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2022). Sistema De Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO). Dados meteorológicos. Disponível em: <<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/>>

- PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=SE&lang=pt_br>.
- Eugenio, F.C., dos Santos, A.R., Fiedler, N.C., Ribeiro, G.A., da Silva, A.G., dos Santos, Á.B., Schettino, V.R., 2016. Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 173, 65-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.021>
- Ferraz, S.D.B., Vettorazzi, C.A., 1998. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de um sistema de informações geográficas (SIG). *Scientia Forestalis*, (53), 39-48. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/17451/Scientia_Forestalis_n53_p39-48_1998.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ferreira, L.N., Vega-Oliveros, D.A., Zhao, L., Cardoso, M.F., Macau, E.E., 2020. Global fire season severity analysis and forecasting. *Computers & Geosciences*, 134, e104339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2019.104339>
- Fidalgo, A., Fernandes, A. S., 2023. Efeito dos incêndios florestais no ecossistema: revisão integrativa. *Territorium* 30 (2). DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_30-2_1
- Field, R.D., Luo, M., Fromm, M., Voulgarakis, A., Mangeon, S., Worden, J., 2016. Simulating the Black Saturday 2009 smoke plume with an interactive composition-climate model: Sensitivity to emissions amount, timing, and injection height. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 121, n. 8, p. 4296-4316. DOI: <https://doi.org/10.1002/2015JD024343>.
- Freitas, S.R., Longo, K.M., Dias, M.A.F., Dias, P.L., 2005. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. *Estudos Avançados*, 19, 167-185. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100011>
- Gao, B.C., 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Ghali, R., Akhloufi, M.A., 2023. Deep Learning Approaches for Wildland Fires Using Satellite Remote Sensing Data: Detection, Mapping, and Prediction. *Fire*, v. 6, n. 5, p. 192. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6050192>.
- Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P., Wardlow, B., 2007. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*, 34(6), e29127. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006GL029127>
- Gulácsi, A., Kovács, F., 2015. Drought monitoring with spectral indices calculated from MODIS satellite images in Hungary. *Journal of Environmental Geography*, 8(3-4), 11-20. DOI: <https://doi.org/10.1515/jengeo-2015-0008>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019); Coordenação De Recursos Naturais E Estudos Ambientais. Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil: Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões Fitoecológicas. Rio de Janeiro: IBGE, Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101648>>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística (2021). Bases cartográficas contínuas: base cartográfica do Brasil. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html>>.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia (2022). BDMep: Banco de Dados Meteorológicos. Dados meteorológicos. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2011). Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Modelo Digital de Elevação. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2021). Catálogo de Imagens: Imagens satélite Landsat 8. Disponível em: <<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>>.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2022). Bdqueimadas: banco de dados queimadas do Brasil. Focos Calor satélite AquaMT. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#exportar-dados>>.
- Jones, M.W., Abatzoglou, J.T., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., Le Quére, C., 2022. Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics*, 60(3), e2020RG000726. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020RG000726>
- Kelly, J., Ibáñez, T. S., Santín, C., Doerr, S. H., Nilsson, M-C., Holst, T., Lindroth, A., Kljun,

- N., 2021. Boreal forest soil carbon fluxes one year after a wildfire: Effects of burn severity and management. *Global Change Biology*. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15721>
- Leite, A.C.S., de Oliveira, L.M.M., Bezerra, U.A., de Almeida Oliveira, D.N.O., Candeias, A.L.B., Junior, J.R.T., 2017. Comparison of methods of Humidity Index processing in the Irrigated Perimeter Nilo Coelho, Northeast of Brazil. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 7(6), 315-323. DOI: <https://doi.org/10.29150/jhrs.v7.6.p315-323>
- Lemos, N.S.A., Cunha, J.M., 2021. Analysis of fire risk in the Amazon: a systematic review. *Revista Ambiente & Água*, 16, e2706. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2706>
- Libonati, R., Pereira, J.M.C., Da Camara, C.C., Peres, L.F., Oom, D., Rodrigues, J.A., Silva, J.M.N., 2021. Twenty-first century droughts have not increasingly exacerbated fire season severity in the Brazilian Amazon. *Scientific Reports*, 11(1), e4400. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82158-8>
- Lima Filho, A.A., Correa, B.G.S., Souza, J.C.G., Vieira, M.R.S., Silvestrim, E.G., Silvestrim, F.G., Araújo, A.C.G., Santana, G.P., 2024. Análise da relação da umidade relativa do ar, focos de calor e precipitação acumulada no Amazonas. *Revista Contemporânea*, 4 (2), e3432. DOI: <https://doi.org/10.56083/RCV4N2-123>
- Lourenço, L. 1990. Impacte ambiental dos incêndios florestais. Disponível em: <https://www.uc.pt/fluc/nicif/Publicacoes/Collectaneas_Cindinicas/Download/Colecao_IV/Artigo_III.pdf>
- Qin, Q., Liu, Y., 2021. Changes in microbial communities at different soil depths through the first rainy season following severe wildfire in North China artificial *Pinus tabulaeformis* forest. *Journal of Environmental Management*, 280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111865>
- MapBiomas, P., 2022. Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR>.
- Molinari, R.L., Bishop, T.B.B., Bekker, M.F., Kitchen, S.G., Allphin, L., Clair, S.B.S., 2019. Creosote growth rate and reproduction increase in postfire environments. *Ecology and Evolution*. 9, 12897–12905. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.5771>
- Mota, P.H.S., Rocha, S.J.S.S., Castro, N.L.M., Marcatti, G.E., Jesus França, L.C., Schettini, B.L.S., ... Santos, A.R., 2019. Forest fire hazard zoning in Mato Grosso state, Brazil. *Land use policy*, v. 88, p. 104206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104206>
- Myers, R.L., 2006. Living with fire: sustaining ecosystems & livelihoods through integrated fire management. The Nature Conservancy, Arlington, VA, USA, p 1-36. Disponível em: <https://www.academia.edu/31525166/Living_with_Fire_Sustaining_Ecosystems_and_Livelihoods_Through_Integrated_Fire_Management_Global_Fire_Initiative>.
- Neger, C., León-Cruz, J.F., Galicia Sarmiento, L., Manzo-Delgado, L.D.L., 2022. Dinámica espaciotemporal, causas y efectos de los megaincendios forestales en México. *Madera y bosques*, v. 28, n. 2. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822453>.
- Nieman, W.A., Van Wilgen, B.W., Leslie, A.J.A., 2021. Review of fire management practices in African savanna-protected areas. *KOEDOE-African Protected Area Conservation and Science*, v. 63, n. 1, p. 1655, 2021. DOI: [10.4102/koedoe.v63i1.1655](https://doi.org/10.4102/koedoe.v63i1.1655).
- Oliveira Filho, H., Oliveira-Júnior, J.F., Silva, M.V.D., Jardim, A.M.D.R.F., Shah, M., Gobo, J.P.A., Attia, E.A., 2022. Dynamics of Fire Foci in the Amazon Rainforest and Their Consequences on Environmental Degradation. *Sustainability*, 14(15), e9419. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14159419>
- Oliveira, D.D.S., Batista, A.C., Soares, R.V., Grodzki, L., Vosgerau, J., 2004. Zoneamento de risco de incêndios florestais para o Estado do Paraná. *Floresta*, 34(2), 217-221. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v34i2.2399>
- Oliveira, L.A., Jasper, A., 2018. Mapeamento de focos de calor no município de Juara/MT nos anos de 2016 e 2017: construção de banco de dados para análises ambientais regionais. *Revista Destaques Acadêmicos*, 10(3), 230-241. DOI: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v10i3a2018.1981>
- Oliveira-Junior, J.F., Mendes, D., Correia Filho, W.L.F., da Silva Junior, C.A., de Gois, G., Jardim, A.M.D.R.F., Marinho, A.A.R., 2021. Fire foci in South America: Impact and causes, fire hazard and future scenarios. *Journal of South American Earth Sciences*, 112, e103623. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103623>.
- Peterson, D.A., Hyer, E.J., Campbell, J.R., Solbrig, J.E., Fromm, M.D.A., 2017. Conceptual model for development of intense pyrocumulonimbus in western North America. *Monthly Weather*

- Review, v. 145, n. 6, p. 2235-2255. DOI: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0232.1>.
- Pivello, V.R., 2011. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. *Fire Ecology*, 7, 24-39. DOI: <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>.
- 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 (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil. Disponível em: http://www.ppgeo.ig.ufu.br/sites/ppgeo.ig.ufu.br/files/Anexos/Bookpage/Anexos_TatianaDinizPrudente.pdf.
- Pyne, S.J., Andrews, P.L., Laven, R.D., 1996. Introduction to wildland fire. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, Inc. p.769.
- Ramvalho, A.H.C., Santos, A.R., Fiedler, N.C., Biazatti, L.D., 2021. Zoneamento de Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais - Passo a Passo. 1. ed. Jerônimo Monteiro, ES: Antônio Ramalho. Disponível em: <https://mundogeomatica.com/livros/livroincendiosarccgis/roifarcgis.pdf>.
- Reis, H.C., Turk, V., 2023. Detection of forest fire using deep convolutional neural networks with transfer learning approach. *Applied Soft Computing*, v. 143, p. 110362, ago. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110362>.
- Ribeiro, L., Koproski, L.P., Stolle, L., Lingnau, C., Soares, R.V., Batista, A.C., 2008. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR). *Floresta*, 38(3), 561-572. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v38i3.12430>
- Rodrigues, M., Trigo, R.M., Vega-García, C., Cardil, A. 2020. Identifying large fire weather typologies in the Iberian Peninsula. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 280, p. 107789. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107789>
- Saaty, R.W., 1987. The analytic hierarchy process - what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176. DOI: [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Shimabukuro, Y.E., Dutra, A.C., Arai, E., Duarte, V., Cassol, H.L.G., Pereira, G., Cardozo, F.D.S., 2020. Mapping burned areas of Mato Grosso state Brazilian Amazon using multisensor datasets. *Remote Sensing*, v. 12, n. 22, p. 3827. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12223827>.
- Silveira, M.V., Petri, C.A., Broggio, I.S., Chagas, G.O., Macul, M.S., Leite, C.C., Aragão, L.E., 2020. Drivers of fire anomalies in the Brazilian Amazon: Lessons learned from the 2019 fire crisis. *Land*, 9(12), e516. DOI: <https://doi.org/10.3390/land9120516>
- Soares, R.V., Batista, A.C., 2007. Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba: Fundação de Pesquisa Florestal do Paraná. 250p.
- Sousa, J.A.P., Nascimento Lopes, E R., Duarte, M.L., Ewbank, H., Lourenço, R.W., 2022. Forest fire risk indicator (FFRI) based on geoprocessing and multicriteria analysis. *Natural Hazards*, v. 114, n. 2, p. 2311-2330. DOI: 10.1007/s11069-022-05473-x.
- Strydom, S., Savage, M.J.A., 2016. Spatio-temporal analysis of fires in South Africa. *South African Journal of Science*, v. 112, n. 11-12, p. 1-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.17159/sajs.2016/20150489>
- Tetto, A.F., Batista, A.C., Soares, R.V., 2012. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná, Brasil Forest fire risk zone mapping for Irati National Forest, State of Parana, Brazil. *Scientia Forestalis*, 40(94), 259-265. Disponível em: https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Publicacoes-Impacto/material3os/2012_Tetto_et al_ZoneamentoIncendiosParana_SC_DE3os.pdf.
- Torres, F.T.P., Roque, M.P.B., Lima, G.S., Martins, S.V., Faria, A.L.L.F., 2017. Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. *Floresta e Ambiente*, 24, e25615. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.025615>
- Vergani, C., Werlen, M., Conedera, M., Cohen, D., Schwarz, M. 2017. Investigation of root reinforcement decay after a forest fire in a Scots pine (*Pinus sylvestris*) protection forest. *Forest Ecology and Management*, 400, 339-352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.005>
- Vieira, A., 2023. Grandes incêndios na América do Norte. *Territorium* 30 (2). DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_30-2_12
- White, L.A.S., White, B.L.A., 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>

Ziccardi, L.G., Thiersch, C.R., Yanai, A.M., Fearnside, P. M.; Ferreira-Filho, P. J., 2020. Forest fire risk indices and zoning of hazardous areas in Sorocaba, São Paulo state,

Brazil. Journal of forestry research, v. 31, n. 2, p. 581-590. DOI: 10.1007/s11676-019-00889-x

Apêndices

Apêndice 1. Detalhamento das fontes e dos dados utilizados

Fonte		Dado
Instituição	Serviço	
INPE		MDE cenas:
	TOPODATA	06S51_, 06S525, 07S51_, 07S525, 08S51_, 08S525, 09S525, 10S54_, 10S525, 11S525, 12S525, 12S54_, 13S54_, 14S54_, 14S555
	Catálogo de Imagens	imagens satélite Landsat 8: 224_65 de 05/05, 08/07 e 25/08/2021, 224_66 de 20/04, 08/07 e 25/08/2021, 224_67 de 20/04, 08/07 e 10/09/2021, 224_68 de 20/04, 08/07 e 10/09/2021, 224_70 de 20/04, 25/08 e 10/09/2021, 225_64 de 04/01 e 17/09/2021, 225_65 de 04/01 e 17/09/2021, 225_66 de 28/05 e 17/09/2021, 225_67 de 28/05 e 17/09/2021, 225_68 de 04/01 e 17/09/2021, 225_69 de 28/05 e 01/09/2021, 225_70 de 28/05 e 01/09/2021
	BDQueimadas	Focos de calor registrados pelo satélite AquaMT para o Brasil
INMET		temperatura, precipitação e umidade relativa do ar para os anos de 2017 a 2021 das estações meteorológicas:
	BDMep	A013, A041, A216, A230, A233, A234, A240, A241, A247, A253, A254, A256, A908, A912, A915, A916, A921, A923, A930, A931, A942, A943
EMBRAPA		temperatura, precipitação e umidade relativa do ar para os anos de 2017 a 2021 dos pontos controle:
	AGRITEMPO	TRMM.3221, TRMM.3222, TRMM.3306, TRMM.3307, TRMM.3390, TRMM.3391, TRMM.3475, TRMM.3476, TRMM.3568, TRMM.3569, TRMM.3483, TRMM.3484, TRMM.3831, TRMM.3832, TRMM.3925, TRMM.3926, TRMM.4131, TRMM.4132, TRMM.4028, TRMM.4029, TRMM.4349, TRMM.4350, TRMM.4459, TRMM.4460, TRMM.5750, TRMM.5749, TRMM.5599, TRMM.5600, TRMM.6358, TRMM.6359, TRMM.6513, TRMM.6514, TRMM.7282, TRMM.7283, TRMM.7285, TRMM.7286, TRMM.7438, TRMM.7439, TRMM.7443, TRMM.7444
MapBiomias	Coleção 7	mapas de Cobertura e Uso da Terra para o Brasil
DNIT	VGeo	Malha viária dos estados e do Brasil
IBGE	Base cartográfica contínua do Brasil	limites Administrativos, Terras Indígenas (TI) e áreas de conservação ambiental
	Macrocaracterização dos recursos naturais do Brasil	estrutura geológica, unidades de relevo, classes de solos e tipos de vegetação

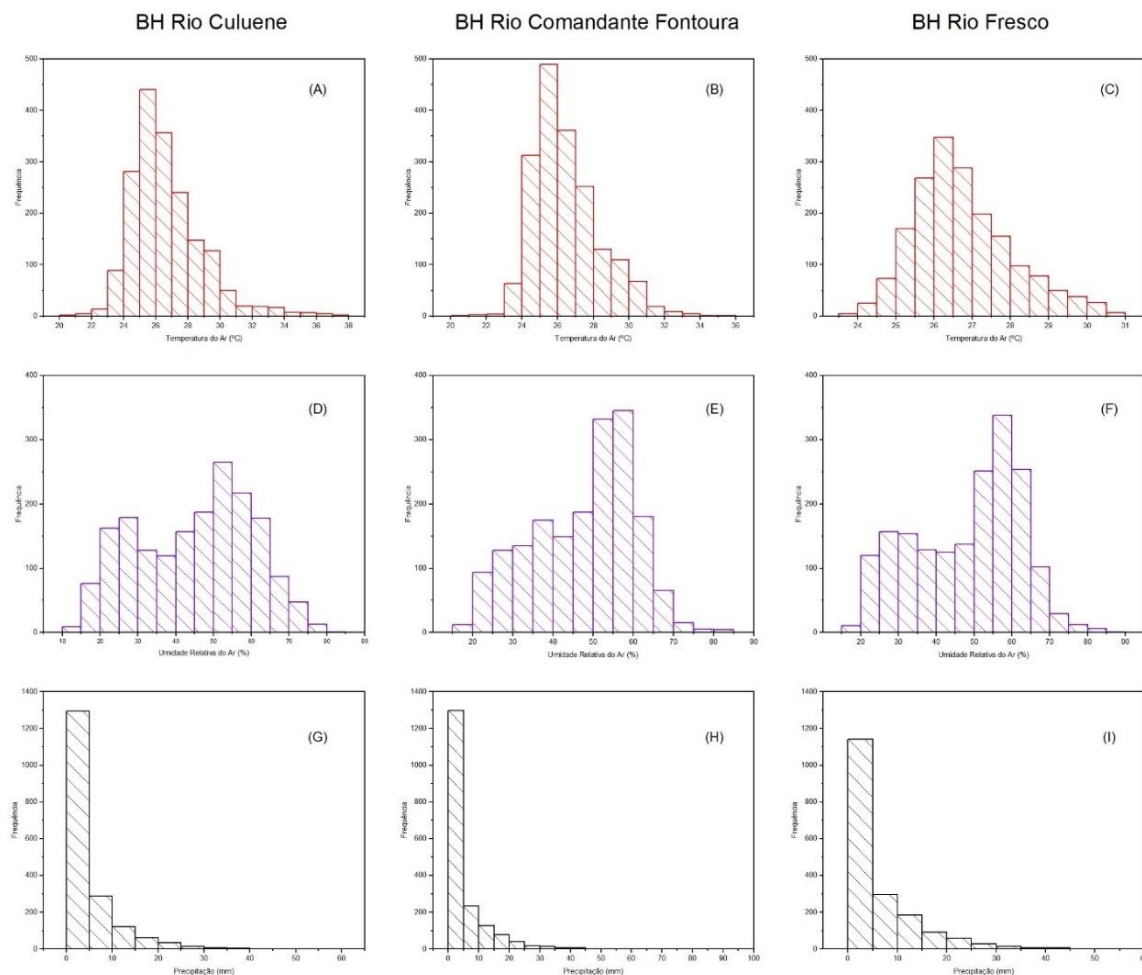
Apêndice 2. Histogramas de frequência Temperatura e Umidade Relativa do ar com valores diárias e de Precipitação com valores acumulados mensal

Variável	Classe Risco	Sub-bacia hidrográfica do rio Culuene		Sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura		Sub-bacia hidrográfica do rio Fresco	
		Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Altitude	1	1371,59	10,02	1342,77	10,00	12879,19	97,87
	2	1371,59	10,02	1342,77	10,00	931,63	2,13
Aspecto	1	4791,26	35,00	4956,64	36,37	16015,93	36,56
	2	1734,12	12,67	1771,57	13,00	5736,63	13,09
	3	1783,75	13,03	1736,02	12,74	5567,16	12,71
	4	3421,09	24,99	3364,69	24,69	10911,99	24,91
	5	1958,03	14,30	1800,69	13,21	5579,11	12,73
Declividade	1	13606,45	99,40	13523,32	99,22	38720,72	88,38
	2	79,29	0,58	96,56	0,71	3540,12	8,08
	3	2,48	0,02	9,40	0,07	1260,42	2,88
	4					254,19	0,58
	5					35,36	0,08
Proximidade estradas	1	10112,60	73,88	11529,11	84,59	38588,63	88,08
	2	372,90	2,72	195,30	1,43	488,38	1,11
	3	973,51	7,11	625,82	4,59	1463,06	3,34
	4	1207,53	8,82	719,51	5,28	1727,64	3,94
	5	1022,03	7,47	559,96	4,11	1543,55	3,52
Precipitação jan	1	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Precipitação fev	1	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Precipitação mar	1	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Precipitação abr	1	9818,85	71,73	13629,77	100,00	43811,32	100,00
	2	3618,16	26,43				
	3	251,23	1,84				
Precipitação mai	1					1288,56	2,94
	2					5132,00	11,71
	3					30815,37	70,34
	4			826,84	6,07	6572,43	15,00
	5	13688,16	100,00	12802,55	93,93		
Precipitação jun	5	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Precipitação jul	5	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Precipitação ago	4					1189,55	2,72
	5	13688,16	100,00	13629,77	100,00	42618,81	97,28
Precipitação set	1			4152,10	30,46	21602,17	49,31
	2			6493,83	47,64	22041,62	50,31
	3			1200,16	8,81	164,57	0,38
	4	10202,68	74,54	1783,30	13,08		
	5	3485,56	25,46				
Precipitação out	1	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Precipitação nov	1	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Precipitação dez	1	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Temperatura ar jan	4	10365,29	75,72	13629,77	100,00	37641,71	85,92
	5	3322,94	24,28			6166,65	14,08
Temperatura ar fev	2	615,66	4,50				
	3	13072,57	95,50	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Temperatura ar mar	4	11101,99	81,11	13629,77	100,00	41923,67	95,69
	5	2556,24	18,67			1884,69	4,30
Temperatura ar abr	3	988,52	7,22				
	4	12699,71	92,78	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Temperatura ar mai	3	271,47	1,98				
	4	7985,04	58,34			6351,12	14,50
	5	5431,72	39,68	13629,77	100,00	37457,24	85,50
Temperatura ar jun	3	3685,63	26,93				
	4	7412,86	54,16	12000,54	88,05	34217,13	78,10
	5	2589,75	18,92	1628,85	11,95	9591,23	21,89
Temperatura ar jul	4	7070,04	51,65			8045,20	18,36
	5	6618,20	48,35	13629,77	100,00	35763,16	81,63
Temperatura ar ago	5	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Temperatura ar set	4					3136,40	7,16
	5	13688,16	100,00	13629,77	100,00	40671,96	92,83

Temperatura ar out	5	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
Temperatura ar nov	4	10640,34	77,73	13629,77	100,00		
	5	3047,89	22,27			43811,32	100,00
Temperatura ar dez	4	7914,75	57,82	13629,77	100,00	23846,71	54,43
	5	5773,48	42,18			19961,65	45,56
UR ar jan	1	1892,77	13,83			22265,43	50,82
	2	9193,18	67,16	13629,77	100,00	21542,93	49,17
	3	2602,22	19,01				
UR ar fev	1	263,55	1,93			2858,70	6,53
	2	9313,58	68,04	13629,77	100,00	40417,65	92,25
	3	4111,04	30,03			532,01	1,21
UR ar mar	1	3555,15	25,97			32417,00	73,99
	2	8157,22	59,59	13629,77	100,00	11391,36	26,00
	3	1975,79	14,43				
UR ar abr	1	870,53	6,36			10962,82	25,02
	2	7943,31	58,03	13629,77	100,00	31408,44	71,69
	3	4331,48	31,64			1437,10	3,28
	4	542,86	3,97				
UR ar mai	1	90,62	0,66	232,63	1,71	8838,26	20,17
	2	7588,14	55,44	13396,76	98,29	21476,54	49,02
	3	4064,74	29,70			13424,09	30,64
	4	1944,67	14,21			69,47	0,16
UR ar jun	4			885,96	6,50	9043,22	20,64
	5	13688,16	100,00	12743,43	93,50	34765,14	79,35
UR ar jul	5	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
UR ar ago	5	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
UR ar set	5	13688,16	100,00	13629,77	100,00	43811,32	100,00
UR ar out	2	799,01	5,84			13154,94	30,03
	3	6437,72	47,03	13304,45	97,61	26568,48	60,64
	4	4898,44	35,79	324,94	2,38	4084,95	9,32
	5	1552,99	11,35				
UR ar nov	1	641,58	4,69			5609,16	12,80
	2	8688,56	63,48	9874,80	72,45	31585,88	72,10
	3	4348,44	31,77	3754,59	27,55	6613,32	15,09
	4	9,59	0,07				
UR ar dez	1	4555,73	33,28			23607,06	53,88
	2	7013,01	51,23	13629,77	100,00	20201,30	46,11
	3	2119,43	15,48				
Umidade material jan	1					25,29	0,06
	2			34,85	0,26	1869,44	4,27
	3	653,41	4,77	6574,92	48,24	20136,23	45,96
	4	13034,47	95,22	7019,75	51,50	21779,70	49,71
	5					0,15	0,00
Umidade material fev	1					25,29	0,06
	2			34,85	0,26	1869,44	4,27
	3	653,41	4,77	6574,92	48,24	20136,23	45,96
	4	13034,47	95,22	7019,75	51,50	21779,70	49,71
	5					0,15	0,00
Umidade material mar	1					25,29	0,06
	2			34,85	0,26	1869,44	4,27
	3	653,41	4,77	6574,92	48,24	20136,23	45,96
	4	13034,47	95,22	7019,75	51,50	21779,70	49,71
	5					0,15	0,00
Umidade material abr	1					25,29	0,06
	2			34,85	0,26	1869,44	4,27
	3	653,41	4,77	6574,92	48,24	20136,23	45,96
	4	13034,47	95,22	7019,75	51,50	21779,70	49,71
	5					0,15	0,00
Umidade material mai	1					25,29	0,06
	2			34,85	0,26	1869,44	4,27
	3	653,41	4,77	6574,92	48,24	20136,23	45,96

	4	13034,47	95,22	7019,75	51,50	21779,70	49,71
	5					0,15	0,00
Umidade material jun	1					4,66	0,01
	2			1,29	0,01	61,95	0,14
	3	580,95	4,24	5459,54	40,06	22032,00	50,29
	4	13107,06	95,75	8168,26	59,93	21710,09	49,55
	5					2,17	0,00
Umidade material jul	1					4,66	0,01
	2			1,29	0,01	61,95	0,14
	3	580,95	4,24	5459,54	40,06	22032,00	50,29
	4	13107,06	95,75	8168,26	59,93	21710,09	49,55
	5					2,17	0,00
Umidade material ago	1					4,66	0,01
	2			1,29	0,01	61,95	0,14
	3	580,95	4,24	5459,54	40,06	22032,00	50,29
	4	13,107.061	95,75	8168,26	59,93	21710,09	49,55
	5					2,17	0,00
Umidade material set	1					3,79	0,01
	2					205,31	0,47
	3	710,89	5,19	4522,10	33,18	20814,54	47,51
	4	12968,75	94,74	9005,72	66,07	22651,60	51,70
	5	6,99	0,05	101,46	0,74	133,61	0,30
Umidade material out	1					0,34	0,00
	2	24,60	0,18	2,68	0,02	63,98	0,15
	3	4464,83	32,62	5441,09	39,92	28227,66	64,43
	4	9195,76	67,18	8143,10	59,74	15518,65	35,42
	5	2,95	0,02	42,75	0,31	0,18	0,00
Umidade material nov	1					0,34	0,00
	2	24,60	0,18	2,68	0,02	63,98	0,15
	3	4464,83	32,62	5441,09	39,92	28227,66	64,43
	4	9195,76	67,18	8143,10	59,74	15518,65	35,42
	5	2,95	0,02	42,75	0,31	0,18	0,00
Umidade material dez	1					0,34	0,00
	2	24,60	0,18	2,68	0,02	63,98	0,15
	3	4464,83	32,62	5441,09	39,92	28227,66	64,43
	4	9195,76	67,18	8143,10	59,74	15518,65	35,42
	5	2,95	0,02	42,75	0,31	0,18	0,00
Uso cobertura solo jan	1	243,16	1,78	79,08	0,58	152,88	0,35
	2	2933,47	21,43	7773,61	57,03	26411,39	60,28
	3	6992,71	51,09	474,79	3,48	517,65	1,18
	4	734,44	5,37	79,06	0,58	2082,26	4,75
	5	2784,35	20,34	5223,02	38,32	14646,71	33,43
Uso cobertura solo fev	1	243,16	1,78	79,08	0,58	152,88	0,35
	2	2933,47	21,43	7773,61	57,03	26411,39	60,28
	3	6992,71	51,09	474,79	3,48	517,65	1,18
	4	734,44	5,37	79,06	0,58	2082,26	4,75
	5	2784,35	20,34	5223,02	38,32	14646,71	33,43
Uso cobertura solo mar	1	243,16	1,78	79,08	0,58	152,88	0,35
	2	2933,47	21,43	7773,61	57,03	26411,39	60,28
	3	6992,71	51,09	474,79	3,48	517,65	1,18
	4	734,44	5,37	79,06	0,58	2082,26	4,75
	5	2784,35	20,34	5223,02	38,32	14646,71	33,43
Uso cobertura solo abr	1	1701,19	12,43	2264,43	16,61	188,82	0,43
	2	1455,43	10,63	5588,21	41,00	26277,36	59,98
	3	6992,70	51,09	474,80	3,48	517,65	1,18
	4	734,44	5,37	79,06	0,58	2082,27	4,75
	5	2784,35	20,34	5223,05	38,32	14744,80	33,66
Uso cobertura solo mai	1	242,76	1,77	77,06	0,57	121,31	0,28
	2	1,16	0,01	2,02	0,01	212,26	0,48
	3	1456,70	10,64	5588,19	41,00	26096,73	59,57
	4	5892,94	43,05	474,79	3,48	517,65	1,18
	5	6094,58	44,52	7487,50	54,93	16862,94	38,49

Uso cobertura solo jun	1	242,76	1,77	77,06	0,57	121,31	0,28
	2	1,16	0,01	2,02	0,01	212,26	0,48
	3	1456,70	10,64	5588,19	41,00	26096,73	59,57
	4	5892,94	43,05	474,79	3,48	517,65	1,18
	5	6094,58	44,52	7487,50	54,93	16862,94	38,49
Uso cobertura solo jul	1	242,76	1,77	77,06	0,57	121,31	0,28
	2	1,16	0,01	2,02	0,01	212,26	0,48
	3	1456,70	10,64	5588,19	41,00	26096,73	59,57
	4	5892,94	43,05	474,79	3,48	517,65	1,18
	5	6094,58	44,52	7487,50	54,93	16862,94	38,49
Uso cobertura solo ago	1	1701,19	12,43	2262,40	16,60	157,25	0,36
	2	1,16	0,01	2,03	0,01	212,26	0,48
	3	1456,68	10,64	5588,21	41,00	26096,66	59,57
	4	5892,94	43,05	474,80	3,48	517,65	1,18
	5	4630,55	33,83	5302,11	38,90	16827,07	38,41
Uso cobertura solo set	1	1701,19	12,43	2262,40	16,60	157,25	0,36
	2	1,16	0,01	2,03	0,01	212,26	0,48
	3	1456,68	10,64	5588,21	41,00	26096,66	59,57
	4	5892,94	43,05	474,80	3,48	517,65	1,18
	5	4630,55	33,83	5302,11	38,90	16827,07	38,41
Uso cobertura solo out	1	1701,19	12,43	2262,40	16,60	157,25	0,36
	2	1,16	0,01	2,03	0,01	212,26	0,48
	3	1456,68	10,64	5588,21	41,00	26096,66	59,57
	4	5892,94	43,05	474,80	3,48	517,65	1,18
	5	4630,55	33,83	5302,11	38,90	16827,07	38,41
Uso cobertura solo nov	1	1701,19	12,43	2264,43	16,61	188,82	0,43
	2	1455,43	10,63	5588,21	41,00	26277,36	59,98
	3	6992,70	51,09	474,80	3,48	517,65	1,18
	4	734,44	5,37	79,06	0,58	2082,27	4,75
	5	2784,35	20,34	5223,05	38,32	14744,80	33,66
Uso cobertura solo dez	1	1701,19	12,43	2264,43	16,61	188,82	0,43
	2	1455,43	10,63	5588,21	41,00	26277,36	59,98
	3	6992,70	51,09	474,80	3,48	517,65	1,18
	4	734,44	5,37	79,06	0,58	2082,27	4,75
	5	2784,35	20,34	5223,05	38,32	14744,80	33,66



Apêndice 3. Classe risco potencial de incêndio por variáveis

Apêndice 4. Risco potencial de incêndio.

Mês	Classe Risco	Sub-bacia hidrográfica do rio Culuene		Sub-bacia hidrográfica do rio Comandante Fontoura		Sub-bacia hidrográfica do rio Fresco	
		Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Risco incêndio janeiro	1			14,03	0,10	623,63	1,42
	2	4465,81	32,63	8506,09	62,41	30243,86	69,03
	3	9191,34	67,15	5109,64	37,49	12931,89	29,52
	4	30,97	0,23			11,95	0,03
Risco incêndio fevereiro	1			22,13	0,16	628,94	1,44
	2	6449,54	47,12	8728,50	64,04	30856,93	70,43
	3	7238,57	52,88	4879,14	35,80	12325,44	28,13
Risco incêndio março	1			14,05	0,10	630,99	1,44
	2	5089,82	37,18	8506,23	62,41	30723,26	70,13
	3	8573,04	62,63	5109,48	37,49	12456,76	28,43
	4	25,27	0,18				
Risco incêndio abril	1			15,60	0,11	551,91	1,26
	2	3126,56	22,84	8599,63	63,09	30285,34	69,13
	3	10359,77	75,68	5014,54	36,79	12961,76	29,59
	4	201,79	1,47			12,31	0,03
Risco incêndio maio	2					1018,62	2,33
	3	687,26	5,02	5352,39	39,27	38343,59	87,52
	4	12164,49	88,87	8000,21	58,70	4431,85	10,12
	5	836,41	6,11	277,17	2,03	17,27	0,04
Risco incêndio junho	3	453,81	3,32	3750,94	27,52	19345,02	44,16
	4	11887,20	86,84	9231,75	67,73	22635,90	51,67

	5	1347,14	9,84	647,08	4,75	1830,40	4,18
Risco incêndio Julho	3	389,10	2,84	3655,45	26,82	18372,94	41,94
	4	11728,96	85,69	9161,88	67,22	23295,76	53,17
	5	1570,10	11,47	812,44	5,96	2142,62	4,89
Risco incêndio agosto	3	900,74	6,58	4756,54	34,90	18504,02	42,24
	4	11291,03	82,49	8276,73	60,73	23186,35	52,92
	5	1496,38	10,93	596,50	4,38	2120,96	4,84
Risco incêndio setembro	2			728,41	5,34	6872,64	15,69
	3	1743,73	12,74	10961,24	80,42	34121,23	77,88
	4	11445,71	83,62	1922,10	14,10	2815,39	6,43
	5	497,11	3,63	17,68	0,13		
Risco incêndio outubro	1			1,05	0,01		
	2	2889,49	21,11	5709,27	41,89	23776,62	54,27
	3	10472,87	76,51	7754,74	56,90	19660,18	44,87
	4	325,78	2,38	164,71	1,21	374,41	0,85
Risco incêndio novembro	1			1,80	0,01	16,02	0,04
	2	6142,57	44,88	7880,82	57,82	29828,06	68,08
	3	7515,88	54,91	5712,51	41,91	13908,77	31,75
	4	29,29	0,21	34,63	0,25	58,48	0,13
Risco incêndio dezembro	1					32,93	0,08
	2	6800,36	49,68	8079,67	59,28	30024,31	68,53
	3	6863,63	50,14	5548,20	40,71	13715,58	31,31
	4	23,42	0,17	1,81	0,01	38,51	0,09