

Dinâmica espaçotemporal de focos de calor e risco de incêndios na Amazônia Ocidental: estudo de caso para o estado de Rondônia



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Territorial
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

DOCUMENTOS 143

Dinâmica espaçotemporal de focos de calor e risco de incêndios na Amazônia Ocidental: estudo de caso para o estado de Rondônia

*Paulo Roberto Rodrigues Martinho
Álvaro José Reis Ramos
Jaudete Daltio
Carlos Alberto de Carvalho*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Territorial
Av. Soldado Passarinho, nº 303
Fazenda Chapadão
13070-115, Campinas, SP
Fone: (19) 3211.6200
www.embrapa.br/territorial
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Territorial

Presidente
Luciôla Alves Magalhães

Secretária-executiva
Bibiana Teixeira de Almeida

Membros
Ângelo Mansur Mendes, José Dilcio Rocha, Lauro Rodrigues Nogueira, Suzi Carneiro, Vera Viana dos Santos Brandão, André Luiz dos Santos Furtado e Paulo Augusto Vianna Barroso

Supervisão editorial
Suzi Carneiro e Bibiana Teixeira de Almeida

Revisão de texto
Bibiana Teixeira de Almeida

Normalização bibliográfica
Vera Viana dos Santos Brandão

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica e tratamento das ilustrações
Suzi Carneiro

Ilustração da capa
Freepik.com

1ª edição
Publicação digital - PDF (2022)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Territorial

Dinâmica espacotemporal de focos de calor e risco de incêndios na Amazônia Ocidental: estudo de caso para o estado de Rondônia. / Paulo Roberto Rodrigues Martinho, Álvaro José Reis Ramos, Jaudete Daltio, Carlos Alberto de Carvalho. - Campinas: Embrapa Territorial, 2022.

PDF (27 p.): il. ; (Documentos / Embrapa Territorial, ISSN 0103-7811; 143).

1. Geotecnologia. 2. Serviços ecossistêmicos. 3. Reposição de nutrientes. I. Martinho, Paulo Roberto Rodrigues. II. Ramos, Álvaro José Reis. III. Daltio, Jaudete. IV. Carvalho, Carlos Alberto de. V. Título. VI. Série.

CDD 333.75

Autor

Paulo Roberto Rodrigues Martinho

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agricultura Tropical e Subtropical, analista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Álvaro José Reis Ramos

Engenheiro de Pesca, mestre em Modelagem Computacional, bolsista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Jaudete Daltio

Bacharel em Ciência da Computação, doutora em Ciência da Computação, analista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Carlos Alberto de Carvalho

Bacharel em Informática, mestre em Ciência da Computação, analista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Apresentação

A Embrapa Territorial é uma Unidade temática da Embrapa que atua na viabilização de soluções de inteligência, gestão e monitoramento territorial para a agricultura brasileira. Em seus projetos e ações, a Unidade desenvolve e aplica métodos que propiciam aos gestores públicos e privados maior conhecimento da complexidade do mundo rural, seus desafios e oportunidades.

Nossas equipes multidisciplinares fazem amplo uso das geotecnologias para gerar, integrar e analisar informações de diversas fontes e naturezas, em bases territoriais e em diversas escalas temporais.

O desenvolvimento e a aplicação de métodos, técnicas e procedimentos permitem detectar, identificar, qualificar, cartografar, prever e monitorar os diversos aspectos e fatores que influenciam a dinâmica de atividades agrícolas, pecuárias, florestais e ambientais em nível local, regional e nacional.

Bons prognósticos e diagnósticos territoriais são fundamentais na busca pelo desenvolvimento agropecuário sustentável, de modo a equilibrar as questões produtivas, socioeconômicas e ambientais. Além da caracterização de aspectos técnicos e agronômicos, a análise detalhada da agropecuária de uma determinada região implica compreender como essas características interagem com cada situação natural, agrária, agrícola, de infraestrutura e socioeconômica possibilitando o monitoramento de sua evolução.

Esta obra utiliza técnicas de análise de banco de dados de queimadas, computação estruturada e processamento de dados em sistema de informações geográficas (SIG), para gerar produtos cartográficos e viabilizar uma avaliação crítica da dinâmica espaçotemporal de focos de calor e risco de incêndios em terras públicas do estado de Rondônia, no bioma Amazônia.

Boa leitura!

Gustavo Spadotti Amaral Castro

Chefe-Geral da Embrapa Territorial

Sumário

Apresentação	7
Introdução	11
Área de estudo	12
Dados de focos de calor.....	13
Dinâmica temporal	13
Transformada de ondaletas.....	13
SIG e processamento de dados.....	14
Padrão espacial de risco de incêndios	15
Perfil temporal da distribuição de queimadas (2010–2019)	16
Perfil espacial de risco de incêndios (2010–2019)	20
Conclusões.....	25
Agradecimentos.....	25
Referências	25

Introdução

O fogo na região amazônica é fortemente atribuído às mudanças no uso da terra, ligadas a alterações no seu uso e cobertura, e intensificado por determinadas condições climáticas que favorecem as queimadas. Em condições normais de precipitação, a probabilidade de ocorrência de incêndios decresce exponencialmente em relação ao distanciamento das estradas e rodovias amazônicas (Cochrane; Laurance, 2002), principalmente em terras atribuídas ao uso humano. Aragão et al. (2007) descreveram que o aumento significativo de queimadas e incêndios na Amazônia é proporcional a períodos de baixa umidade e prolongadas secas no bioma.

Nos últimos anos, as produções científicas evidenciam de maneira notória a elevação na inflamabilidade da vegetação em algumas regiões do bioma Amazônia (Malhi et al., 2009; Coe et al., 2013). Como resultado dessas tendências, são esperadas alterações estruturais nas florestas, com possíveis quedas de sua extensão ou transições para Florestas Estacionais (Malhi et al., 2009). Essas mudanças também resultam em alterações nos microclimas regionais, que tornam as estações secas mais prolongadas e podem reduzir a taxa de umidade, o que favorece a propagação do fogo tanto em áreas florestais como em áreas privadas (Coe et al., 2013).

Neste cenário de mudanças ambientais, a perpetuação de queimadas resultará em perdas socioambientais em grande escala, ante a elevação dos riscos de incêndios. Para reduzir essas consequências, são requeridas políticas públicas, as quais vêm se mostrando eficazes na contenção do desmatamento local (Assunção et al., 2012). Por conta dos altos impactos que incêndios florestais causam na Amazônia, estimativas da propensão a incêndios e seu zoneamento são objetos de estudo essencialmente a partir dos anos 2000, com modelos baseados em dados climatológicos associados a mapas de vegetação regional, cobertura da terra e malhas viárias (Chen et al., 2011).

O mapeamento das ameaças e a identificação das queimadas são fundamentais para a obtenção de estimativas mais precisas para as alterações ambientais decorrentes desse fenômeno (Zhan et al., 2002).

Por conta da alta escala espacial e dificuldade de mapeamento in loco, os dados provenientes de sensores remotos vêm sendo cada vez mais utilizados nos estudos de queimadas e incêndios, tanto para identificação, quanto para monitoramento e quantificação dos focos registrados em diferentes escalas (Miguel et al., 2010). Para Faria et al. (2003), as análises de dados de sensoriamento remoto por meio de sistemas de informações geográficas (SIGs) permitem obter mapas com rapidez e precisão, atualizar bancos de dados, estimar áreas de risco e definir zoneamentos, e caracterizam-se como importantes ferramentas em estudos ambientais.

Diferentes autores buscam entender o comportamento de incêndios e queimadas no estado de Rondônia utilizando técnicas de análise de focos de calor em SIG e estabelecendo possíveis relações com fatores socioambientais regionais, a exemplo de Graça et al. (2012) e Boeira e Bernini (2015).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi fornecer uma avaliação crítica da dinâmica espaçotemporal de focos de calor e risco de incêndios em terras públicas do estado de Rondônia, no bioma Amazônia, visando auxiliar processos de decisão para priorizar o monitoramento de áreas com vulnerabilidade efetiva a incêndios.

Área de estudo

A área de estudo corresponde às áreas públicas do estado de Rondônia, e são essencialmente compostas por unidades de conservação (UCs), assentamentos rurais (AS), terras indígenas (TIs), áreas militares e áreas quilombolas (Figura 1).

As UCs foram divididas em duas categorias. A primeira, denominada de "uso restrito e/ou sustentável (uso sustentável)", agregou áreas de proteção ambiental, zonas de reservas de desenvolvimento sustentável, reservas extrativistas, reserva particular do patrimônio natural e áreas de relevante interesse ecológico. O segundo grupo de UCs foi denominado "protegidas e intocadas (proteção integral)" e abrangeu estações ecológicas, monumentos naturais, reservas biológicas, parques nacionais, florestas nacionais (flonas) e refúgios da vida selvagem.

O estado de Rondônia apresenta área de 237.765,240 km² e população estimada em 1.796.460. A economia é voltada essencialmente à agricultura, pecuária e indústria (IBGE, 2020).

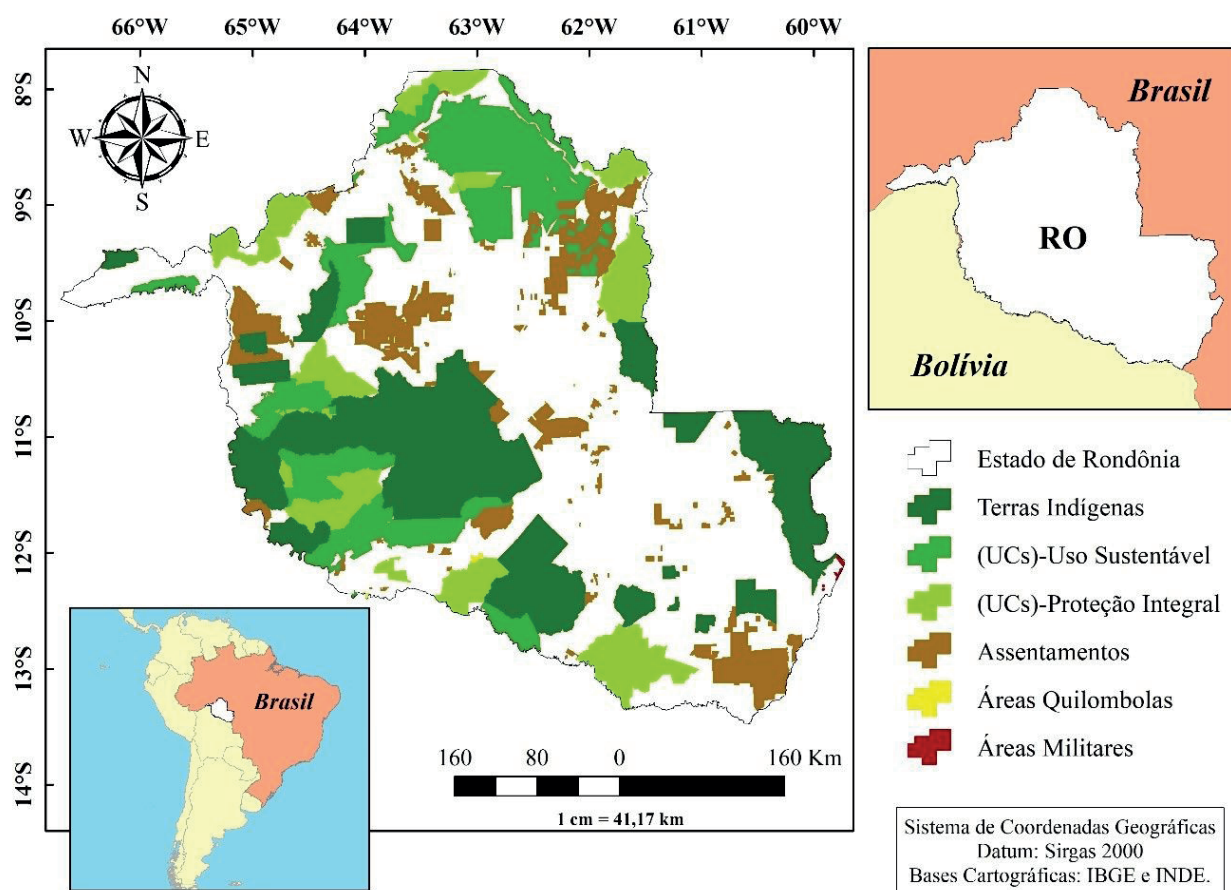


Figura 1. Área de estudo.

Dados de focos de calor

Foram adquiridos dados de focos de calor, no formato *shapefile*, no Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), no período de 01/01/2010 a 31/12/2019, para o estado de Rondônia. Os dados são provenientes do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (Modis), plataforma Aqua¹.

O princípio físico para obtenção das informações matriciais sobre queimadas do sensor de referência provém da equação da temperatura radiométrica, também conhecida como temperatura de brilho ou radiância espectral, a qual indica a energia emitida ou refletida por um determinado alvo, em unidades de Watt/stereoradiano/m² (W.sr⁻¹.m⁻².nm⁻¹). As temperaturas indicadas pelos satélites são inferidas indiretamente por meio de equações e métodos a partir da radiância medida. A detecção de incêndio é feita usando um algoritmo contextual que explora a forte emissão de radiação na região do infravermelho médio (NASA, 2020).

Dinâmica temporal

Transformada de ondaletas

Após a extração das informações de focos de calor em matriz de estruturas, contendo as correlações entre as variáveis e os fatores, o método de análise para determinar frequências utilizado no estudo, que considera a não estacionariedade dos dados e visa caracterizar as oscilações em escalas temporais, foi o sistema ortogonal da transformada de ondaletas (TO). Para Maraun e Kurths (2004), o procedimento é considerado robusto por presumir resoluções temporais devidamente ajustadas para os períodos desejados. Dessa forma, em diferentes escalas, é possível obter resoluções temporais adequadas.

O termo ondaleta corresponde a um conjunto integrado de funções que geram pequenas ondas resultantes de dilatações e translações em uma função simples originada a partir de informações reais, chamada comumente de "ondaleta mãe", cujas funções provenientes são denominadas "ondaletas filhas", ou meramente ondaletas (Torrence; Compo, 1998). Segundo Stollnitz et al. (1995), ondaletas são uma classe de funções que reescrevem imagens ou sinais em posições e escala, são decompostas hierarquicamente e representam detalhes presentes em determinada curva.

Após a extração das componentes temporais de queimadas, o espectro de potência foi analisado a partir da ondaleta do tipo *derivative of a Gaussian* (Dog), com nível de significância de 0,05, e permitiu identificar variações anuais e interanuais no padrão de queimadas em escala tempo-frequência. As funções de base da ondaleta Dog estão descritas na Figura 2, e são provenientes da extração de frequências locais pela decomposição de funções temporais em intervalos de frequências, expressas em funções de bases sinusoidais.

Na Figura 2, é possível observar $\Psi_0(\eta)$, que representa a exponencial complexa da ondaleta, $\eta = t/s$, em que t corresponde ao tempo e s é a escala da ondaleta em função do tempo ($=2/dt$), ω é a frequência não dimensional, m representa a variância normalizada, e $e^{-\tau_s}$ refere-se ao método de duplicidade do tempo e $\Psi_0(s\omega)$, à transformada de Fourier.

¹ Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>.

Funções de base: Derivative of a Gaussian

$\Psi_0(\eta)$	$\frac{(-1)^{m+1}}{\sqrt{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}} \frac{d^m}{d\eta^m} (e^{-\eta^2/2})$
$\Psi_0(s\omega)$	$\frac{-i^m}{\sqrt{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}} (s\omega)^m e^{-(s\omega)^2/2}$
$e^{-\tau_s}$	$\sqrt{2s}$
Comprimento de	$\frac{2\pi s}{\sqrt{m + \frac{1}{2}}}$
onda Fourier	

Figura 2. Funções de base: *derivative of a Gaussian*.

Fonte: Adaptado de Torrence e Compo (1998).

Para avaliação de ciclos longos, verificando sinais de frequências de alta duração na série temporal, foi adotada a ondaleta Morlet. Esta ondaleta é descrita como uma exponencial complexa modulada por uma gaussiana (Andreoli et al., 2004), dada pela Equação 1, de componentes semelhantes aos da equação anterior:

$$\Psi(t) = e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad (1)$$

SIG e processamento de dados

Estruturação do SIG

A estruturação do sistema de informações geográficas (SIG) usado no estudo foi resultado da integração de softwares, ferramentas e técnicas com acervos de dados numéricos, iconográficos e cartográficos, e bancos de dados apoiados em informações espaciais.

No processo de elaboração do SIG, o principal programa utilizado foi o ArcGIS, versão 10.7, por sua facilidade para lidar com bancos de informações complexos através de módulos específicos para análise espacial. O pós-processamento, a análise dos dados estruturais e vetoriais, assim como a tabulação das informações de saída foram feitos em ambiente GNU Octave, software livre escrito em C++ que integra uma grade para linguagem de computação de alto nível desenvolvida para operar em modelagem numérica e computação matemática.

O estudo ainda utilizou informações diárias do Modis, produto MYD09GA, para análise de superfície e visualização da cobertura de fumaça proveniente de queimadas. Esses dados foram extraídos

da plataforma Google Earth Engine (GEE), um catálogo de informações associado a uma interface de programação de aplicativo (*application programming interface*, API) escrito em JavaScript e acessível, através da internet, a um ambiente de desenvolvimento interativo (*integrated development environment*, IDE) para gerar e visualizar resultados geoespaciais em escala global (Chen et al., 2017; Gorelick et al., 2017).

Os limites municipais das unidades da Federação foram obtidos das divisões territoriais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em formato *shapefile* (IBGE, 2015). Os limites de unidades de conservação, terras indígenas, áreas militares, assentamentos agrários e comunidades quilombolas foram obtidos junto à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE, 2019).

Padrão espacial de risco de incêndios

As estimativas de risco de incêndios descrevem regiões que apresentam vegetações propícias para a ocorrência de queimadas, analisando padrões meteorológicos. Baseiam-se na quantidade de dias sem chuvas em determinada região e sua relação com o risco de queima da vegetação local. São consideradas no cálculo variáveis como tipo de vegetação, temperatura máxima e umidade mínima locais, elevação topográfica e ocorrência de queimadas na área (Setzer et al., 2019). A Equação 2 demonstra numericamente o risco de fogo:

$$RF_f = Rf \times F_{(lat)} \times F_{(elv)} \quad (2)$$

Rf refere-se ao risco de fogo observado, é proveniente de $Rf = Rb \times Ft \times Fu$ (Rb, risco de fogo básico; Ft, temperatura máxima; e Fu, umidade relativa mínima), $F_{(lat)}$ refere-se ao efeito do fator longitudinal e $F_{(elv)}$, ao fator topográfico. O grau de intensidade do risco de fogo básico varia entre 0 e 1, e sua categorização é descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Grau de risco de incêndios.

Risco	Fator de risco
Mínimo	$RFf < 0,15$
Baixo	$0,15 < RFf \leq 0,4$
Médio	$0,4 < RFf \leq 0,7$
Alto	$0,7 < RFf \leq 0,95$
Crítico	$RFf > 0,95$

Fonte: Adaptado de Setzer et al. (2019).

No processo de delineamento espacial, considerando o plano de informação como um espaço euclidiano de pontos, foi utilizado o diagrama de Voronoi. Por permitir decompor o espaço em subconjuntos relacionados, este método é amplamente utilizado em SIG, dada a sua alta aplicabilidade em estudos ambientais, a exemplo de trabalhos como os desenvolvidos por Ramirez e Sendra (1997), Simões et al. (2016) e Marciano et al. (2018), que buscaram avaliar a dinâmica espacial de precipitação, ou ainda de Santos et al. (2017), que comprovaram a eficiência da metodologia na identificação da distribuição espacial de queimadas e incêndios.

Para analisar a associação espacial da distribuição das áreas propensas à ação do fogo, foi utilizado o método de *hot spot* que se baseia em análises de padrão espacial inferencial introduzidas por Getis e Ord (1992) como alternativa para a avaliação de medidas de associação espacial

(Equação 3). O método baseia-se em distâncias estatísticas e calculadas a partir de um conjunto de vizinhos para cada componente. As medidas indicam o tamanho para o qual uma localização é rodeada por um conjunto de valores altos ou baixos para a variável considerada.

$$G = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij}(d) x_j}{\sum_{j=1}^n x_j}, j \neq i \quad (3)$$

W_{ij} é o valor da matriz de proximidade para o local i com j em relação à distância (d); x_i e x_j são os valores de atributos locais considerados nos locais i e j e n refere-se ao número de pontos na área. Esta análise possibilita identificar *clusters* espaciais estatisticamente significativos, os quais se associam a valores altos (pontos quentes) e valores baixos (pontos frios), considerando níveis de confiança de 90, 95 e 99%. Todas as etapas dos processos de análise espaçotemporal são mostradas na Figura 3.

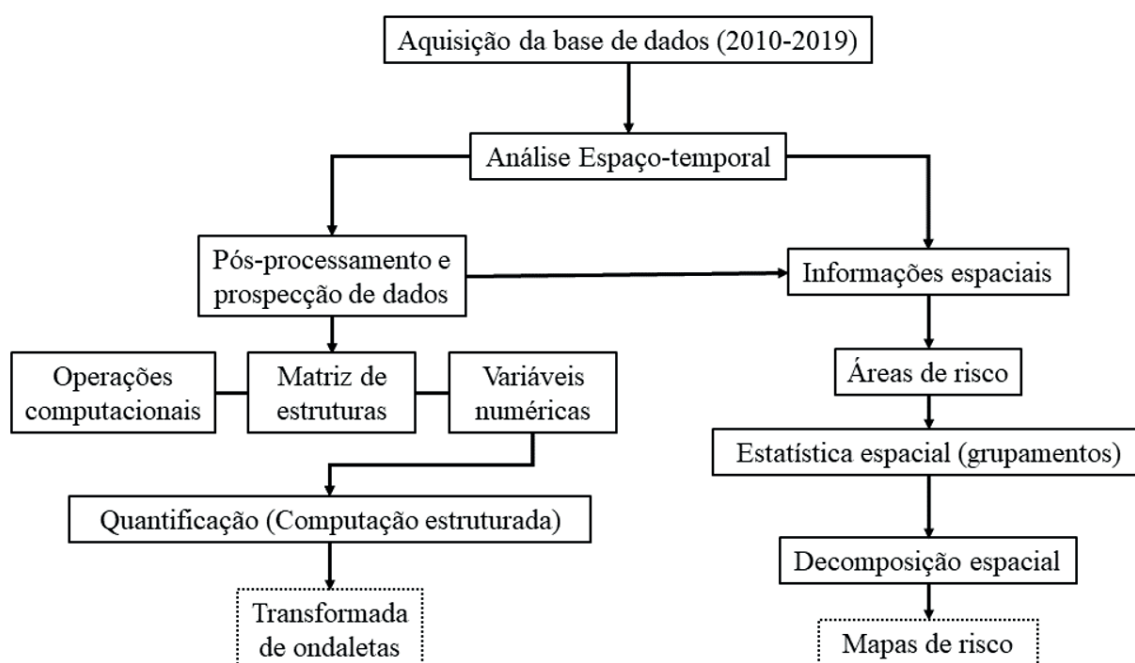


Figura 3. Fluxograma de etapas do processo de análise.

Perfil temporal da distribuição de queimadas (2010–2019)

Para a última década foram contabilizados 100.601 focos de queimadas na unidade da Federação estudada, 41,9% deles dentro das áreas públicas (Tabela 2), com destaque para o ano de 2010, que contribuiu com 15,6% do subtotal verificado nesta categoria. Em contrapartida, no ano de 2013, foram quantificados 1.641 focos, que corresponde a apenas 3,9% dos focos verificados nos últimos 10 anos. A média diária de focos no período estudado foi de 11,6 e, durante o mês de setembro, especificamente no dia 07/09/2018, foi registrada a maior incidência, totalizando 628 focos de queimadas.

A ocorrência de incêndios é notória, e são facilmente observadas nuvens de fumaça resultantes da queima dentro da região avaliada. Em alguns casos, a quantidade de fumaça é extremamente alta, como verificado em 2010 e ilustrado nos *snapshots* extraídos do sensor Modis e representados na

Figura 4, na qual “A” corresponde ao dia 08/09/2010, “B”, ao dia 28/08/2012, “C”, a 23/08/2016 e “D”, a 15/08/2019.

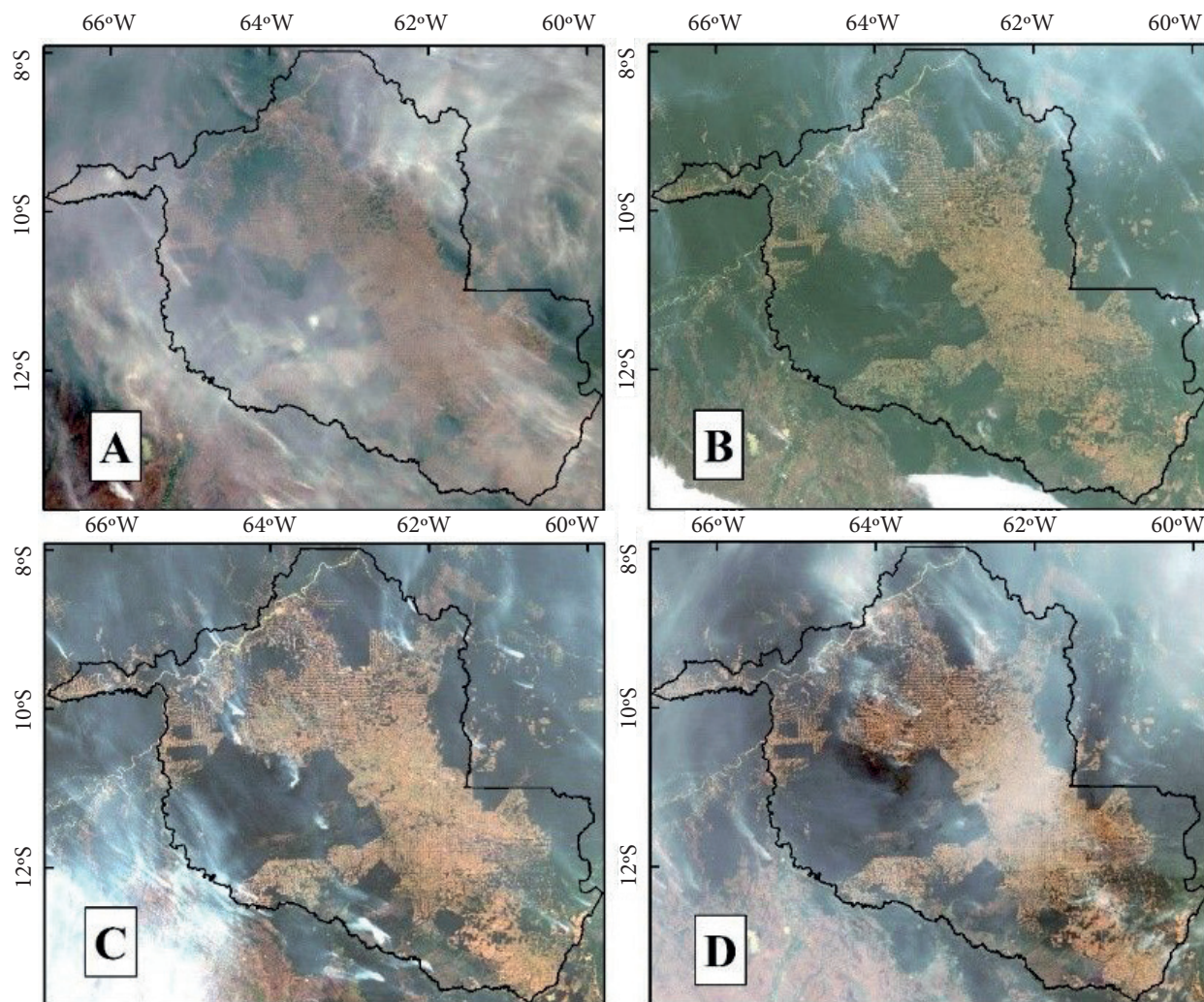


Figura 4. Snapshots de nuvens de fumaça e focos de incêndios em locais públicos.

A Tabela 2 demonstra que a média de distribuição diária foi maior em 2010 e 2015, com aumento acumulado de 9,9% na comparação entre 2015–2019 e 2010–2014, e demonstrando a tendência de elevação na quantidade de queimadas nos últimos cinco anos, quando os valores máximos são verificados principalmente no mês de setembro, situação que o descreve como um período crítico para a região. Contudo, a distribuição ocorre de maneira disforme durante o ano, e a quantidade de dias em que houve queimadas quantificadas corresponde a 39,9% do total. Quando é analisada a quantidade total diária de registro efetivo de queimadas pelo sensor de referência, é notório que o perfil de distribuição de focos ocorre em períodos curtos do ano, com um pico máximo normalmente presente no 3º trimestre de cada ano (Figura 5), presumindo sazonalidade na distribuição de queimadas.

Na Figura 5, o item A demonstra o comportamento diário de queimadas na área estudada, a linha tracejada em vermelho é referente à média diária do bioma Amazônia nos últimos 10 anos que, segundo INPE (2020), foi de 240,9 focos. O item B da mesma ilustração mostra a quantificação do total sazonal, obtido pela soma mensal de todos os meses do ano e o mês correspondente no ano seguinte. Verifica-se que 42,7% de todos os focos identificados ocorrem no mês de setembro, além da tendência de aumento acelerado entre junho e agosto.

Tabela 2. Média diária de focos, valor máximo registrado em apenas um dia, data do valor máximo registrado, quantidade de dias sem o registro de focos, total de focos registrados anualmente para áreas públicas e variação anual da quantidade de queimadas.

Ano	Média diária	Valor máximo	Data do valor máximo	Dias sem focos	Total de focos	Variação (%)
2010	18,1	420	29/09/2010	187	6.598	----
2011	7,1	120	02/09/2011	216	2.587	-60,8
2012	9,6	203	21/09/2012	232	3.527	36,3
2013	4,5	244	25/09/2013	251	1.641	-53,5
2014	7,9	211	19/09/2014	248	2.884	75,7
2015	15,0	411	11/09/2015	203	5.471	89,7
2016	12,8	330	09/09/2016	202	4.690	-14,3
2017	13,5	261	20/09/2017	209	4.933	5,2
2018	12,3	628	07/09/2018	230	4.504	-8,7
2019	14,7	383	14/08/2019	218	5.363	19,1

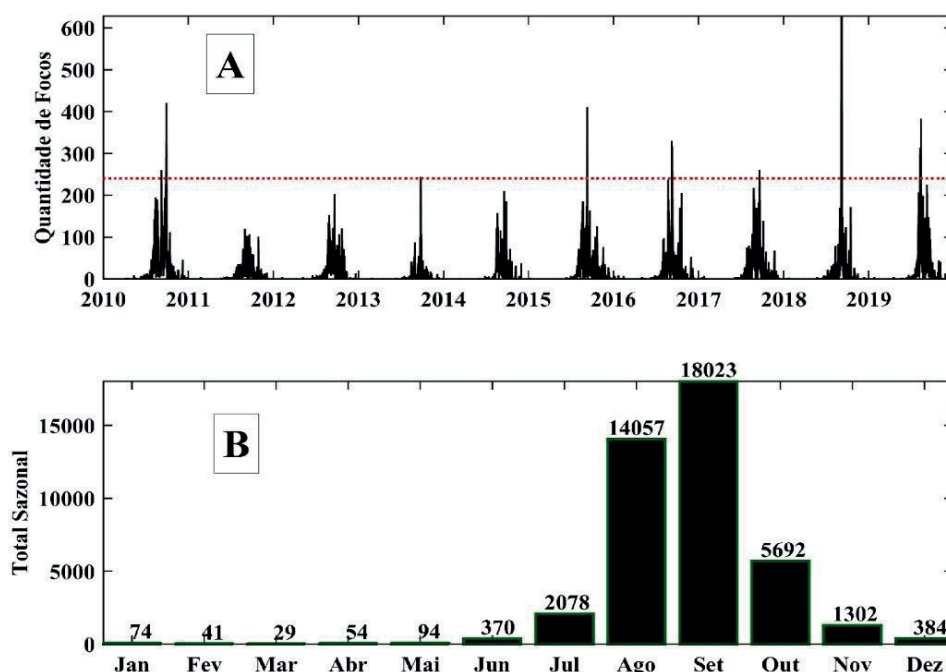


Figura 5. (A) Distribuição diária de queimadas (2010–2019) e (B) soma mensal da década para focos em áreas públicas de Rondônia.

De maneira geral, o padrão corresponde a um comportamento cíclico de distribuição e obedece a uma senoide, característica semelhante à observada no ciclo de período chuvoso no estado de Rondônia, como verificado por Franca (2015) em estudo que visou analisar temporalmente a variabilidade de chuvas no estado de Rondônia entre 1981–2011, concluindo que os meses de junho, julho e agosto apresentam menores volumes de chuvas e incluindo setembro, que ainda apresenta índices baixos de precipitação pluvial no estado. Desse modo, a elevação na quantidade de queimadas ocorre em meses de menor incidência de precipitação para o estado.

Sobre as repartições nas áreas públicas, as unidades de conservação de uso sustentável apresentam 45,5% da quantidade total de focos monitorados, que somados aos focos dos assentamentos integram 84,8% do total de queimadas observadas (Tabela 3). Há um contraponto na comparação

com áreas militares e áreas quilombolas, que, juntas, foram responsáveis por 0,19% das queimadas identificadas nos últimos 10 anos.

Tabela 3. Distribuição territorial da quantidade total de queimadas (2010–2019).

Áreas públicas	Quant.de focos	(%)	Acumulado (%)
UCs (uso restrito e/ou sustentável)	19.207	45,5	---
Assentamentos	16.596	39,3	84,8
Terras indígenas	4.286	10,2	95,0
UCs (protegidas e intocadas)	2.028	4,8	99,8
Áreas militares	59	0,14	99,9
Áreas quilombolas	22	0,05	100,0

Apesar da alta incidência de focos em áreas de assentamentos e UCs de uso sustentável, não foi verificada a ocorrência de focos positivos, caracterizados por repetirem-se em um mesmo local por dias subsequentes, sobretudo na estação seca. Isso indica que a alta ocorrência de incêndios nessas regiões, os maiores registrados em áreas públicas, pode caracteriza limpeza do solo para uso agrícola.

Para todo o período, a relação de intensidade de queimadas é baixa entre 2011–2014. Contudo, posteriormente a esse período, existe uma relação de estabilização em altas de focos entre 2015–2019 (Figura 6). Para 2010, diferentemente dos demais anos, a dinâmica de distribuição temporal é significativa, inclusive em períodos posteriores às altas de queimadas sazonais, sucedidos de quedas abruptas nos anos subsequentes.

A Figura 6 refere-se à distribuição temporal da quantidade de queimadas em áreas públicas para o estado de Rondônia. Os extremos escuros referem-se à quantidade de queimadas significativas para cada ano. Em A, é apresentada a existência de tendências cíclicas que passam a ser significativas, presentes dentro do cone de influência a 95% de confiança, a partir dos 140 dias do calendário juliano e estendendo-se até aproximadamente 280 dias. Para 2011–2014, marcado em azul, há tendência de picos diretamente associados a períodos secos na região. Assim como foi observado em toda a série de dados, contudo, os valores verificados não são intensos quando comparados a 2015–2019, marcado em vermelho.

A baixa incidência de extremos de energia na escala anual para 2011, 2012, 2013 e 2014 na amostra de campo nativo sugere a ocorrência de diferenciações e relativa queda de queimadas, possivelmente relacionadas a fenômenos meteorológicos com efeitos regionais ou locais, como verificado em Ferreira (2017), que relacionou a ocorrência de incêndios a efeitos extremos de precipitação resultantes de eventos positivos e negativos dentro de unidades de conservação e concluiu que as chuvas mantêm uma relação direta com a quantidade de queimadas e incêndios.

Para 2010, a tendência de aumento supera os períodos normais, significativos até aproximadamente janeiro de 2011. Em B, verifica-se que a tendência de fase alta permanece significativa e constante para os últimos cinco anos, marcada em amarelo na Figura 6, caracterizando os últimos anos como os mais críticos de toda a série de dados. Em C, é descrito o espectro global, demonstrando a ocorrência de maior frequência de energia da série temporal.

Em períodos em que houve aumentos nas perturbações de energia associadas à ocorrência de queimadas, foram verificados eventos de El Niño (2010–2011/2015–2016), que estão relacionados

à redução na precipitação na Região Intertropical Amazônica (National Climatic Data Center, 2020). Essas colocações são reforçadas por estudos como os de Souza et al. (2014) e Silveira et al. (2017), os quais concluem que os extremos pluviométricos verificados em Rondônia relacionam-se diretamente a anomalias atmosférico–oceânicas provenientes do Pacífico.

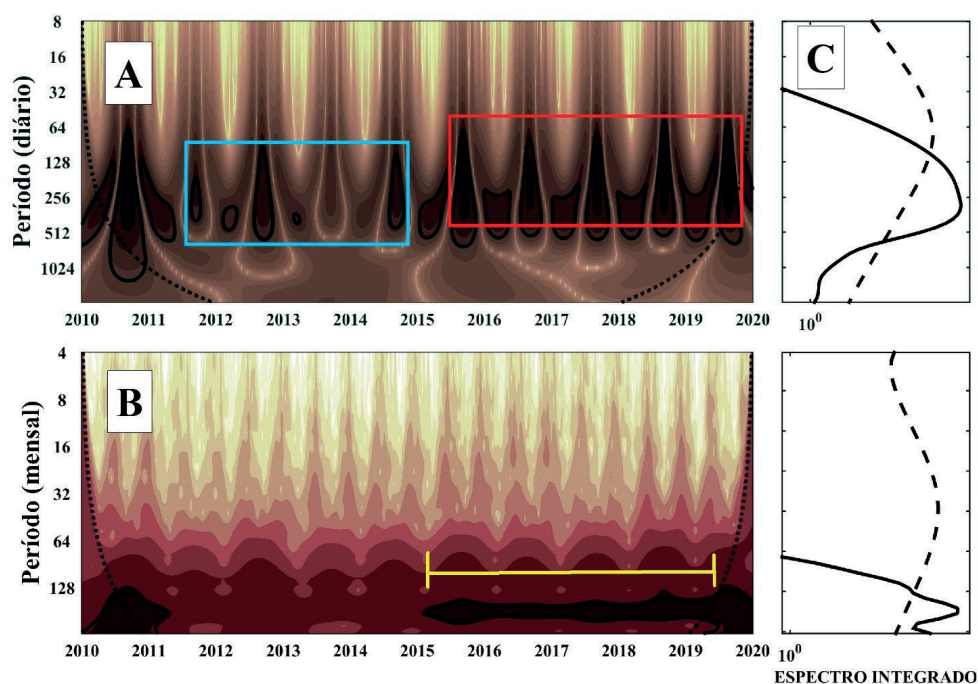


Figura 6. Espectro de potência local para ciclos curtos (A), espectro de potência local para ciclos longos (B) e espectro de potência global (C).

Perfil espacial de risco de incêndios (2010–2019)

A integração das variáveis contributivas para o risco a incêndios florestais viabilizou a elaboração do mapeamento e delineamento espacial de ameaças locais. Espacialmente, grande parte dos focos detectados apresentaram perigo mínimo para caracterizarem incêndios dentro das áreas públicas na última década, e são responsáveis por 56,5% dos pontos totais. A maioria desses focos de alto e/ou crítico perigo estão presentes de maneira significativa, com alto agrupamento espacial, no eixo norte do estado (Figura 7).

Na Figura 7, o item A demonstra que grande parte das zonas de riscos de incêndios estão presentes no eixo setentrional do estado e na margem leste. Contudo, a maior parte dos focos detectados apresenta baixa ou mínima propensão. As zonas menos favoráveis estão dentro de terras indígenas, unidades de conservação de proteção integral e áreas quilombolas e militares. Em B, é exposto o *hot spot* de distribuição espacial dos pontos e suas respectivas significâncias (p-valor) relacionadas à vulnerabilidade estatisticamente significativa de incêndios na última década. As cores quentes, marcadas em vermelho, vermelho-alaranjado e laranja, demonstram, respectivamente, 99%, 95% e 90% de confiança para um grau de agrupamento de pontos com altos riscos de incêndios. O verde descreve locais onde os pontos não são estatisticamente significativos. Por sua vez, as cores frias, marcadas em azul-marinho, azul e ciano, refletem, respectivamente, 99%, 95% e 90% de confiança para um grau de agrupamento de pontos com mínimo perigo de incêndio, presentes principalmente a sul e sudoeste do estado.

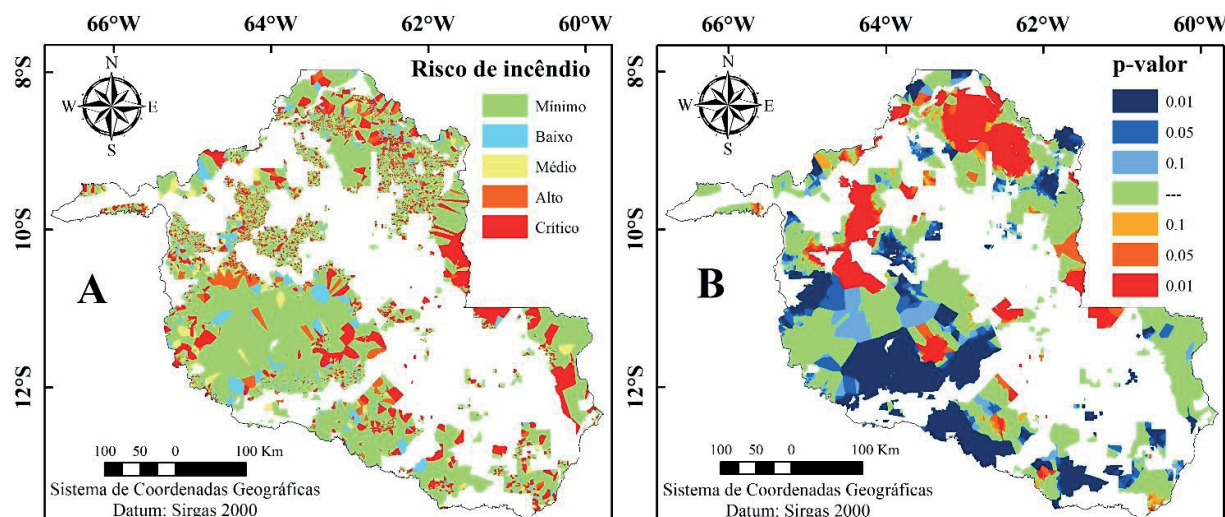


Figura 7. A, distribuição das regiões e grau de risco de incêndios (2010–2019) e B, *hot spot* do grau de risco de incêndios (2010–2019).

Dos 42.198 focos totais identificados em 10 anos, 23.839 apresentam mínimo perigo de ocasionar possíveis incêndios. Contudo, 8.824 apresentaram ameaças críticas para incêndios no período avaliado (Tabela 4). Esta análise é importante para priorizar regiões que apresentem instabilidade eminente a incêndios com base em um passado local recente. Segundo Anderson et al. (2017), as unidades fundiárias, comunidades ou zonas que apresentam como característica altas frequências no número de focos de calor aliada a tendências de evoluções positivas na quantidade de focos em anos subsequentes apresentam risco crítico para incêndios em uma próxima estação seca. Em contrapartida, locais de baixa frequência de focos, mesmo em estações de estiagem na Amazônia, apresentam baixo risco de incêndios florestais.

Cerca de 72,2% dos focos identificados apresentam de médio a mínimo perigo que evidencie incêndios eminentes na última década, distribuídos essencialmente no eixo sul do estado (Tabela 4). Contudo, 27,8% apresentaram alta ou crítica ameaça, estes localizados principalmente no eixo norte, o que descreve essas regiões como prioritárias para ações de políticas de prevenção contra incêndios.

Tabela 4. Quantificação quanto ao grau de risco de incêndios em Rondônia (2010–2019).

Grau	Quantidade	%
Mínimo	23.839	56,5
Baixo	3.842	9,1
Médio	2.774	6,6
Alto	2.919	6,9
Crítico	8.824	20,9
Total	42.198	100,0

O fator sazonal interfere diretamente na dinâmica do grau de propensão para incêndios na área avaliada, onde não apenas a quantidade de focos aumenta mensalmente, mas o grau de perigo aumenta significativamente e de maneira proporcional nos meses de seca na Amazônia. Estas colocações são reforçadas por Barni et al. (2015) em estudo que avaliou a queima da floresta e sua relação com os fatores climáticos na região amazônica, propondo a elaboração de calendários

agrícolas e programação de queimas controladas como fatores de prevenção contra incêndios em grande escala. Na Figura 8, é mostrada a distribuição sazonal de riscos de incêndios considerando apenas os graus mais elevados (alto e crítico) em Rondônia entre 2010–2019.

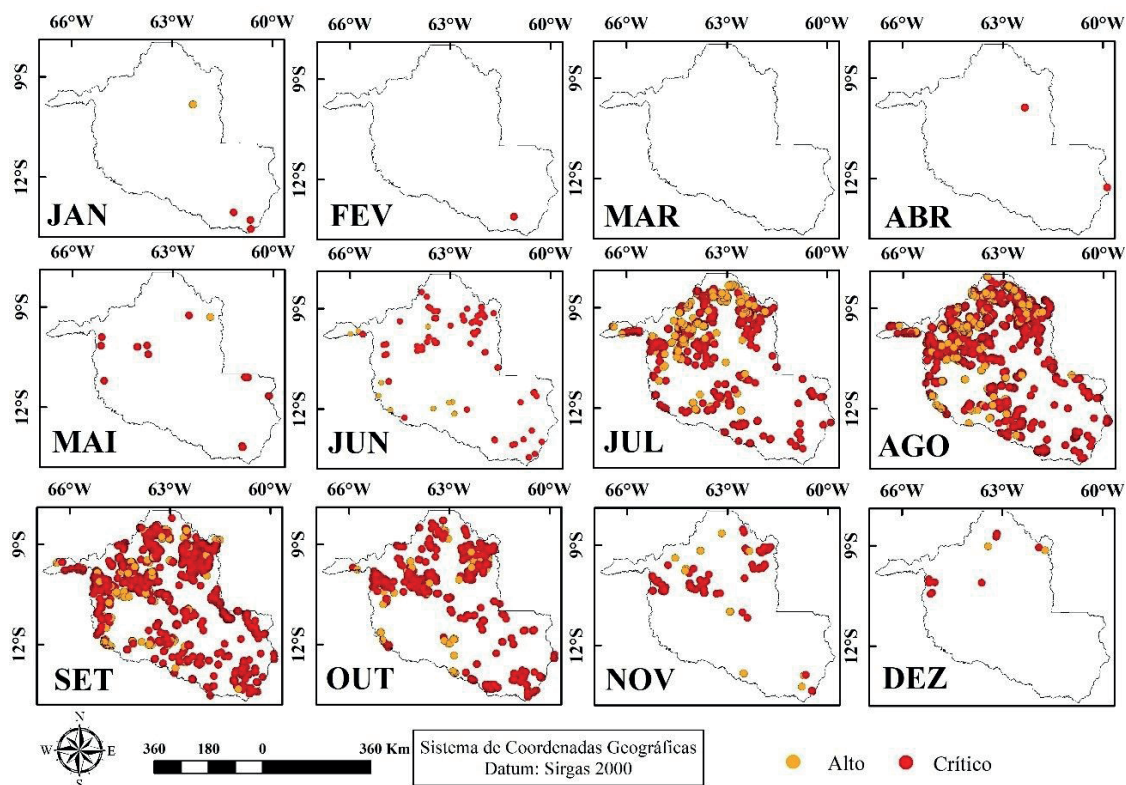


Figura 8. Distribuição sazonal de elevados riscos de incêndios (2010–2019).

Na Figura 8 é exposta a evolução do grau de risco sazonal de incêndios no estado de Rondônia. Os meses de janeiro, fevereiro, março e abril não apresentaram grandes altas ou ameaças críticas eminentes para incêndios. O grau começa a aumentar a partir do mês de junho, concentra altas ameaças em julho e eleva-se a pontos críticos essencialmente em agosto e setembro, reduzindo-se em outubro e nos meses subsequentes até o fim do ano. Este padrão apresenta relação inversa ao período chuvoso na região, o que leva a presumir a existência de uma interação direta entre períodos de estiagem e elevação na quantidade de queimadas. Estas colocações são reforçadas por Mataveli et al. (2017) em estudo que buscou avaliar a relação entre precipitação e focos de queimadas e observou que, no período seco, a vegetação apresenta-se mais susceptível à queima, por conta da baixa umidade e ausência de chuvas. Esta vulnerabilidade reduz-se de maneira significativa na estação chuvosa.

As mesmas conclusões são demonstradas em Santos (2017), em estudo que visava analisar o padrão bibliográfico de estudos que relacionam queimadas à ocorrência de mudanças nos indicadores atmosféricos da Amazônia, e observou que o efeito sazonal é fator primordial no entendimento da dinâmica espacial de incêndios/queimadas no bioma, pois as queimadas aumentam significativamente na estação seca, sobretudo por ações antrópicas, o que eleva a quantidade de partículas suspensas. Em contrapartida, existe queda durante o último trimestre do ano, com redução na quantidade de partículas suspensas na atmosfera, e os efeitos naturais de queimadas passa a ser significativo.

Sazonalmente o eixo nordeste do estado começa a ficar mais afetado por altos riscos de queimadas a partir do mês de julho, essencialmente nas zonas pertencentes às terras indígenas. Contudo, em agosto, as ameaças de incêndios começam a aumentar nos eixos leste e norte do estado, onde em setembro ocorre o pico mais perigoso e se estende até o sudoeste. Para outubro, ocorrem reduções da instabilidade. Os pontos delicados concentram-se basicamente no extremo norte do estado, voltando a reduzir-se em novembro e concentrar-se como altos nos extremos leste, oeste e em pequena parte do extremo sul.

Porém, apesar de a taxa de valores altos ou críticos que demonstram gravidade eminente de incêndios representarem 27,8% do total observado no estudo, esses pontos podem não representar locais estatisticamente significativos para risco efetivo e que podem estar associados a incêndios de maiores proporções na região. Como apurado em Anderson et al. (2017), o adensamento de focos com valores considerados altos e críticos de elevado grau de associação espacial da matriz de vizinhança (confiança > 95%) evidenciam locais extremamente propensos, que necessitam de prioridades para planos de contingência em períodos de estiagem.

Na Figura 9, é mostrada a distribuição espacial sazonal da última década no estado de Rondônia, dos focos de queimadas considerados estatisticamente significativos espacialmente com nível de significância a 0,05. Apesar da existência de 11.743 focos considerados altos ou críticos, apenas 2.500 apresentam grau de associação espacial superior a 95% de confiança. Desse modo, o restante apresenta distribuição aleatória ou dissociada no espaço geográfico. Dentro dessas áreas, o nível de perigo varia sazonalmente, mantendo-se superior de julho a outubro. Contudo, em fevereiro, março, maio e junho, não houve associação espacial entre os focos verificados, o que denota que nesses meses a distribuição dos focos de nível alto ou crítico de perigo possivelmente ocorre de maneira aleatória, ou seja, sem agrupamento espacial de queimadas.

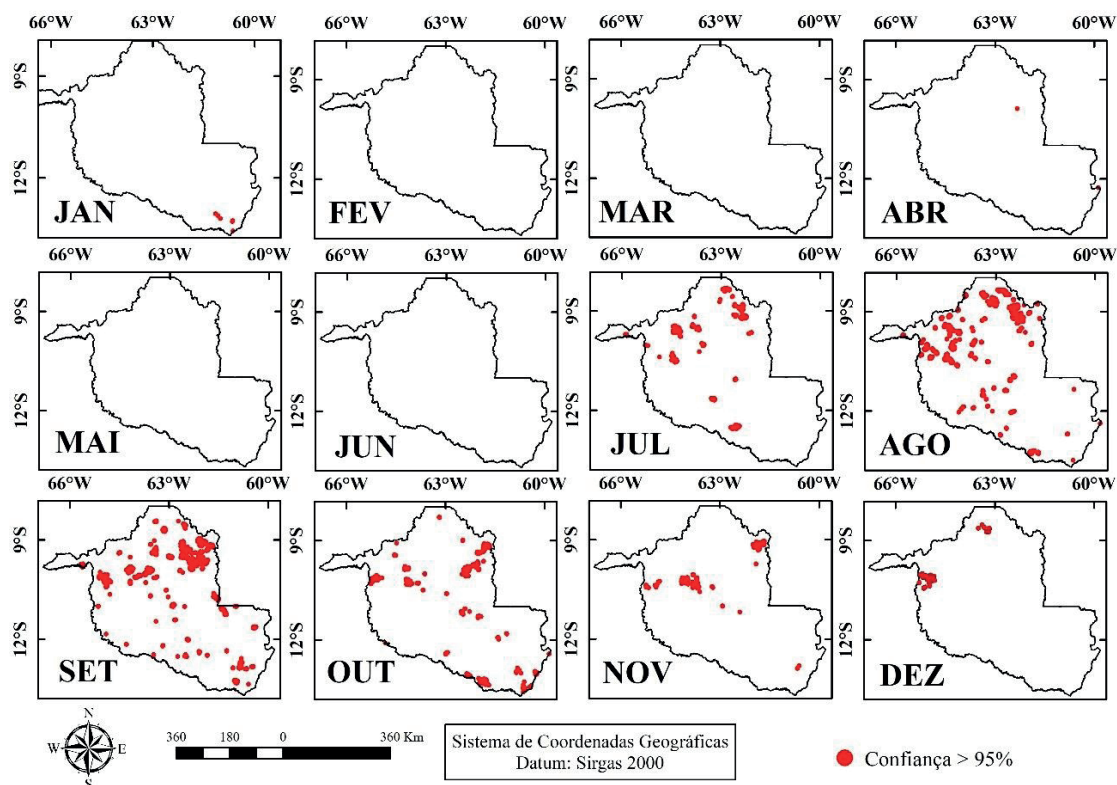


Figura 9. Perfil sazonal de risco de incêndios em áreas públicas (2010–2019).

Considerando apenas os dados constatados na figura 9, é notório que nos seis primeiros meses do ano o nível de agrupamento de altas ameaças é extremamente baixo, chegando a ser inexistente em quatro desses meses. Os poucos aglomerados existentes se concentram na margem sul e leste do estado. Nos meses de julho e agosto, os agrupamentos ao norte passam a ser maiores e, no mês de setembro, esses aglomerados estendem-se até o sul e sudeste do estado. Na Tabela 5 é mostrada a quantidade total de pontos observados por categoria de áreas públicas e o agrupamento significativo na última década.

Tabela 5. Quantidade de pontos com elevado risco de incêndios e pontos com associação espacial significativa.

Categoria	Risco alto ou crítico	Confiança > 95%
UCs (uso restrito e/ou sustentável)	5.623	927
Assentamento	4.443	1.166
UCs (proteção integral)	509	108
Terra indígena	1.140	299
Área militar	21	0
Área quilombola	7	0
TOTAL	11.743	2.500

Para os locais verificados como de riscos altos e críticos, apenas uma parte apresenta significância espacial para ameaça efetiva de incêndios. Observando-se a dependência espacial pelo agrupamento de clusters, verifica-se que 21,3% do total de pontos elevados apresentam risco estatisticamente significativo de incêndios a 0,05 de significância. Essas regiões estão localizadas essencialmente a norte, nordeste e na região oeste do estado, onde UCs de uso restrito e/ou sustentável (37,1%) e assentamentos (46,6%) são as áreas que apresentam maiores suscetibilidades. UCs de proteção integral (4,3%), terras indígenas (12%), áreas militares e áreas quilombolas (0%) mostram menores valores.

Desse modo, fica evidente a participação das classes de assentamentos e UCs de uso restrito e/ou sustentável, somando 83,7% dos focos espacialmente significativos, como classes que requerem maior atenção pelo alto nível de ameaça para incêndios de maiores proporções no estado. Estes resultados reforçam estudos como o de Fearnside et al. (2013), que relacionaram a quantidade de incêndios florestais ao grau de assentamentos humanos locais na Amazônia Ocidental, classificando esses locais como mais susceptíveis pelo tipo de manejo dado ao solo para o plantio em regiões voltadas às práticas agrícolas, e pela dificuldade de ações emergenciais contra o fogo, sobretudo na estação seca. Fenômenos também verificados em Nepstad et al. (1999), que avaliaram as tendências de espalhamento do fogo, estabelecem que há relação direta entre as ações humanas, em terras de uso intenso de pequenos produtores, como agriculturas e pastos, nas quais as chamas frequentemente escapam ao controle e queimam o que não deveria queimar.

Este estudo observou que as zonas de maior aglomeração humana estão sujeitas à ocorrência de queimadas que podem se transformar em incêndios de maiores proporções, principalmente pela dificuldade estrutural em controlar o fogo após sua propagação. Colocações relacionadas ao assunto são encontradas em Veríssimo et al. (2011), que enfatizam a falta de estrutura, mão de obra e treinamento para o combate de incêndios em unidades de conservação no estado de Rondônia.

Conclusões

Este estudo observou a evolução espaçotemporal das queimadas no estado de Rondônia, avaliando tendência de aumento gradual no período correspondente a 2015–2019. O fator sazonal é imprescindível para entender a relação de queimadas no estado, e pode estar diretamente relacionado a fenômenos atmosférico–oceânicos provenientes do Pacífico, por sua alta interação com os processos convectivos na região Amazônica.

Os dados gerados a partir do levantamento de dados dos focos de calor e sua distribuição espacial permitiram identificar zonas que apresentam suscetibilidade elevada a incêndios de maiores proporções no estado. Dessa forma, é possível verificar áreas historicamente vulneráveis e auxiliar na tomada de decisões visando à elaboração de planos de contingência que priorizem regiões com alto grau de vulnerabilidade histórica recente.

Desse modo, os assentamentos e unidades de conservação de uso restrito e/ou sustentável, talvez por seu maior agrupamento humano e por práticas agrícolas, merecem destaque como locais onde a prevenção e o controle requerem maior atenção. Foi possível observar distribuição de pontos de riscos elevados em todo o estado, contudo, as concentrações significativas restringem-se aos eixos norte e oeste, ressaltando a existência de alterações sazonais de propensões a incêndios e demonstrando que as zonas de risco variam espacialmente durante o ano.

De maneira geral, o estudo mostrou que a densidade de focos de queimadas não necessariamente relaciona-se diretamente com a elevação do grau de perigo iminente de incêndios considerando focos ativos espacialmente associados em determinado local. Deste modo, é imprescindível o entendimento dos fatores fisiográficos locais que interagem para categorizar o nível de ameaça de cada foco e a proximidade significativa de pontos com altos graus de ameaça.

Outros fatores que não foram abordados no presente trabalho, como a distribuição e o comportamento do desmatamento regional, o estudo da precipitação na unidade da Federação, a análise de ocorrência de focos em regiões limítrofes ao estado e mudanças no uso e cobertura da terra, podem ser incorporados em pesquisas futuras que busquem entender e ampliar a temática aqui abordada.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido em parceria com o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam) e teve financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- ANDERSON, L. O.; YAMAMOTO, M.; CUNNINGHAM, C.; FONSECA, M. G.; FERNANDES, L. K.; PIMENTEL, A.; BROWN, F.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; LOPES, E. S. S.; MOREIRA, D. S.; SALAZAR, N.; ANDERE L.; ROSAN, T. M.; REIS, V.; ARAGÃO, L. E. O. C. Utilização de dados orbitais de focos de calor para caracterização de riscos de incêndios florestais e priorização de áreas para a tomada de decisão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, p. 167-177, 2017.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Multi-scale variability of the sea surface temperature in the Tropical Atlantic. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, p. 1-12, 2004.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R. M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, 2007.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C. C.; ROCHA, R. Deforestation slowdown in the Legal Amazon: prices or policies. Climate Policy Initiative Working Paper, 2012.

- BARNI, P. E.; PEREIRA, V. B.; MANZI, A. O.; BARBOSA, R. I. Deforestation and forest fires in Roraima and their relationship with phytoclimatic regions in the Northern Brazilian Amazon. **Environmental Management**, v. 55, n. 5, p. 1124-1138, 2015.
- BOEIRA, A. S.; BERNINI, H. Avaliação dos focos de calor ocorridos em 2014 no parque nacional de Pacaás Novos – Rondônia. **Revista Farociência**, v. 2, p. 53-62, 2015.
- CHEN, Y.; RANDERSON, J. T.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; COLLATZ, J. G.; KASIBHATLA, P. S.; GIGLIO, L.; JIN, Y.; MARLIER, M. R. Forecasting Fire Season Severity in South America Using Sea Surface Temperature Anomalies. **Science**, v. 334, p. 786-791, 2011.
- CHEN, B.; XIAO, X.; LI, X.; PAN, L.; DOUGHTY, R.; MA, J.; DONG, J.; QIN, Y.; ZHAO, B.; WU, Z. A mangrove forest map of China in 2015, analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 131, p. 104-120, 2017.
- COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, p.311–325, 2002.
- COE, M. T.; MARTHEWS, T. R.; COSTA, M. H.; GALBRAITH, D. R.; GREENGLASS, N. L.; IMBUZEIRO, H. M. A.; LEVINE, N. M.; MALHI, Y.; MOORCROFT, P. R.; MUZA, M. N.; POWELL, L.; SALESKA, S. R.; SOLORZANO, L. A. Deforestation and climate feedbacks threaten the ecological integrity of south–southeastern Amazonia. **Philosophical Transactions of The Royal Society**, v. 368, p. 1-9, 2013.
- FARIA, A. L. L.; SILVA, J. X.; GOES, M. H. B. Análise ambiental por geoprocessamento em áreas com susceptibilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 9, p. 50-65, 2003.
- FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I.; PEREIRA, V. B. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. **Revista Agroambiente**, v. 7, n. 1, p. 95-111, 2013.
- FERREIRA, M. V. M. Avaliação da relação entre incêndios e precipitação nas unidades de conservação Parque Estadual do Biribiri e Parque Estadual do Rio Preto. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, p. 118-140, 2017.
- FRANCA, R. R. Climatologia das chuvas em Rondônia - período 1981-2011. **Revista Geografias**, v. 11, n. 1, p. 44-58, 2015.
- GETIS, A.; ORD, J. K. The analysis of Spatial Association by use of Distance Statistics. **Geographic Analysis**, v. 24, n. 3, p. 189-206, 1992.
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILUYSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.
- GRAÇA, P. L. M. A.; VITEL, C. S. M. N.; FEARNSIDE, P. M. Detecção de cicatrizes de incêndios florestais utilizando a técnica de análise por vetor de mudança na terra indígena Sete de Setembro – Rondônia. **Ambiência Guarapuava**, v. 8, p. 511-521, 2012.
- IBGE. **Dados de cidades**. Disponível em: cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/panorama. Acesso em: 10 abr. 2020.
- IBGE. **Estrutura territorial**. 2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estruturateritorial.html>. Acesso em: 22 out. 2019.
- INDE. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. **Unidades de conservação**. Disponível em: <https://inde.gov.br/>. Acesso: 22 out. 2019.
- INPE. **Banco de dados de queimadas**. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>. Acesso em: 04 maio 2020.
- MALHI, Y.; ARAGÃO, L. E. O. C.; GALBRAITH, D.; HUNTINGFORD, D.; FISHER, R.; ZELAZOWSKI, P.; SITCH, S.; MCSWEENEY, C.; MEIR, P. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, p. 20610–20615, 2009.
- MARAUN, D.; KURTHS, J. Cross Wavelet Analysis: significance testing and pitfalls. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 11, p. 505–514, 2004.
- MARCIANO, A. G.; BARBOSA, A. A.; SILVA, A. P. M. Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. **Revista Ambiente & Água**, v.13, n. 1, p. 1-9, 2018.
- MATAVELI, G. A. V.; SILVA, M. E. S.; PEREIRA, G.; KAWAKUBO, F. S.; BERTANI, G.; OLIVEIRA, B. S. Análise das queimadas e da precipitação em áreas de Cerrado do Maranhão a partir de dados do sensor MODIS e do satélite TRMM para o período 2002-2015. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 56, p. 11-30, 2017.

MIGUEL, S. M.; HUESCA, M.; GONZÁLEZ-ALONSO, F. Modis reflectance and active fire data for burn mapping and assessment at regional level. **Ecological Modelling**, v. 221, p. 67–74, 2010.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Overview of the MODIS Active Fire Products- MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide**. Disponível em: cdn.earthdata.nasa.gov/conduit/upload/10575/MODIS_C6_Fire_User_Guide_B.pdf. Acesso em: 18 maio 2020.

NATIONAL CLIMATIC DATA CENTER (NCDC). **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)**. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/>. Acesso em: 18 maio 2020.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. G.; ALENCAR, A. A. **Floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia**. Programa Piloto para a Prevenção das Florestas Tropicais do Brasil. Brasília, 1999. 202 p.

RAMIREZ, R. R. P.; SENDRA, J. B. Comparación de métodos de cálculo para la obtención de la variable precipitación en un SIG. **Estudios Geográficos**, v. 58, n. 226, p. 227-255, 1997.

SANTOS, L. S.; SILVA JUNIOR, O. M.; TOZI, S. C. Sistema de informação geográfica aplicados no registro de incêndios da cidade de Belém, estado do Pará. **Interespaço**, v. 3, n.10, p. 65-79, 2017.

SANTOS, T. O.; FILHO, V. S. A.; ROCHA, V. M.; MENESES, J. S. Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia Brasileira: um estudo de revisão. **Revista de Geografia Acadêmica**, v. 11, n. 2, p. 157-181, 2017.

SETZER, A. W.; SISMANOGLU, R. A.; SANTOS, J. G. M. **Método do cálculo do risco de fogo do programa do INPE - versão 11, junho/2019**. São José dos Campos, SP: INPE, 2019. 37 p.

SILVEIRA, R. N. P. O.; FERNANDES, L. L.; SILVA, M. N. A. Tendência de precipitações pluviométricas e avaliação da influência dos ENOS no distrito de Abunã, Rondônia. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 11, p. 14-20, 2017.

SIMÕES, S. J.; GOMES, L.; MENDES, R.; MENDES, T. S. SIG e modelos de escorregamentos: avaliando métodos para reduzir incertezas de dados de solos e precipitação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n.9, p. 1738-1746, 2016.

SOUZA, V. A. S.; NUNES, M. L. A.; FRANCENER, S. F.; ROSA, A. L. D. Eventos de precipitações extremas na Amazônia Ocidental: Rondônia-Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, p. 295-315, 2014.

STOLLNITZ, E. J.; DEROSE, T. D.; SALESIN, D. H. Wavelets for computer graphics: a primer – part 1. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 15, p. 76-84, 1995.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, p. 61-78, 1998.

VERÍSSIMO, A.; ROLLO, A.; VEDOVETO, M.; FUTADA, S. M. **Áreas protegidas na Amazônia Brasileira: avanços e desafios**. Belém: Imazon; São Paulo: Instituto Socioambiental, 2011, 90 p.

ZHAN, X.; SOHLBERG, R. A.; TOWNSHEND, J. R. G.; DIMICELI, C.; CARROLL, M. L.; EASTMAN, J. C.; HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S. Detection of land cover change using MODIS 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 336-350, 2002.

