

Avaliação espacial dos efeitos do desmatamento, queimadas e estiagem sobre a incidência de raiva em herbívoros no estado do Maranhão, Brasil

Spatial assessment of the effects of deforestation, wildfire, and drought on the incidence of rabies in herbivores in the state of Maranhão, Brazil

José Wendel **Araújo Soares**^{1*} , Maria do Socorro **Costa Oliveira**² 

¹Programa de Pós-graduação Profissional em Defesa Sanitária Animal, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís-MA, Brasil.

²Departamento de Patologia, Medicina Veterinária, Centro de Ciência Agrárias, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís-MA, Brasil.

Autor para correspondência: josewendelsoaresaraujo@gmail.com

Informações do artigo

Palavras-chave

Zoonose
Epidemiologia
Prevenção
Mamíferos silvestres

DOI

10.26605/medvet-v19n1-6936

Citação

Araújo Soares, J. W., & Costa Oliveira, M. S. (2025). Avaliação espacial dos efeitos do desmatamento, queimadas e estiagem sobre a incidência de raiva em herbívoros no estado do Maranhão, Brasil. *Medicina Veterinária*, 19(1). 58-.67
<https://doi.org/10.26605/medvet-v19n1-6936>

Recebido: 29 de abril de 2024

Aceito: 1º de novembro de 2024



Resumo

Este estudo teve como objetivo analisar os efeitos dos impactos da frequência e intensidade de incêndios, bem como das variações na superfície do solo coberta por água, sobre a incidência de raiva animal, visando contribuir para o aperfeiçoamento de estratégias de controle e prevenção da doença. O estudo foi baseado nos casos de raiva notificados em bovinos e equinos no estado do Maranhão, entre 2006 e 2022, utilizando as microrregiões do estado como unidades geográficas. A relação entre as variáveis foi analisada por meio da regressão de Poisson e do Índice Local Bivariado de Moran. Os resultados indicaram uma maior incidência de raiva animal no norte do estado, onde ocorre menor densidade de rebanho. O aumento da frequência de incêndios e do desmatamento estão associados a uma redução na incidência da raiva animal, sugerindo impacto negativo dessas variáveis no habitat dos principais reservatórios do vírus da raiva. Isso parece estar relacionado com dinâmica migratória de morcegos para áreas vizinhas. Além disso, a perda de superfície de água mostrou uma correlação positiva com a incidência do vírus, indicando que a seca pode estar relacionada à migração interna, maior proximidade e interação entre as populações dos transmissores da doença. O estudo mostrou-se eficaz na estimativa de risco de ocorrência e disseminação da raiva no estado, recomendando-se a inclusão de medidas de mitigação dos impactos ambientais causados pelos incêndios nas estratégias de controle e prevenção da raiva animal.

Abstract

This study aimed to analyze the effects of the frequency and intensity of fires, as well as variations in the land surface covered by water, on the incidence of animal rabies. It sought to contribute to the improvement of control and prevention strategies for the disease. The analysis was based on cases of rabies reported in cattle and horses in the state of Maranhão, from 2006 to 2022, using the state's geographical microregions as study units. The relationship between the variables was analyzed using Poisson regression and the Local Bivariate Moran's Index. The results indicated a higher incidence of animal rabies in the northern part of the state, where there are lower livestock densities. It was observed that an increase in fire frequency and greater deforestation are associated with a reduction in rabies incidence, suggesting that the impact of these variables on the habitat of the main vectors has a positive effect on the migratory population dynamics of these animals and on the spread of the rabies virus. Additionally, the loss of water surface showed a positive correlation with the virus incidence, indicating that drought might be related to internal migration, closer proximity, and increased interaction among the disease's transmitter populations. The study proved effective in estimating the risk of occurrence and spread of rabies in the state, recommending the inclusion of measures to mitigate the environmental impacts caused by fires in rabies control and prevention strategies

Keywords: zoonosis; epidemiology; prevention; wild mammals.

1 | Introdução

A raiva é uma zoonose viral que afeta tanto mamíferos domésticos quanto selvagens. É causada por um vírus RNA pertencente à família *Rhabdoviridae*, gênero *Lyssavirus*. A doença é aguda, progressiva e fatal, sendo a prevenção o único método de controle (OMS e OPAS, 2021).

A raiva é transmitida aos herbívoros domésticos, principalmente, pelos morcegos hematófagos, em especial *Desmodus rotundus*, mamíferos com grande capacidade de se adaptar às alterações ecológicas causadas pela ação humana (OMS e OPAS, 2021). Por isso, o controle da infecção em herbívoros domésticos parece depender do controle dessa espécie de quirópteros (Souza et al., 2005), apesar de outras espécies de morcegos também transmitirem o vírus da raiva (VRAV) (Cabral et al., 2012; Rocha et al., 2017).

No Brasil, no período de 2019 a 2023 foram notificados 3800 casos de raiva animal, destes 57 ocorreram em animais da fauna silvestre (BRASIL, 2024). O aumento dos rebanhos, a ocupação desordenada do território, desmatamento, construção de rodovias e hidroelétricas alteram o ambiente dos morcegos e são fatores relacionados ao surgimento de novos casos de raiva animal (BRASIL, 2009). Abrigos artificiais para o morcego vampiro *Desmodus rotundus*, principalmente casas abandonadas e bueiros, estão correlacionados com uma maior concentração de casos de raiva bovina no sudeste do Brasil (Mantovan et al., 2022). Estudos apontam que as populações de quirópteros estão, principalmente, localizadas em áreas com alta densidade de animais, que constituem sua principal fonte de alimento (Benavides et al., 2020).

Assim, pesquisadores têm procurado correlacionar a ocorrência de raiva com a frequência e a severidade de incêndios florestais (Govender et al., 2006; Maravalhas e Vasconcelos, 2014; Harper et al., 2018; Steel et al., 2019). As alterações climáticas antropogênicas, a seca e a alteração do uso do solo têm levado a um aumento na frequência e severidade dos incêndios (Stephens et al., 2014). Estes fatores afetam fortemente o habitat e os recursos exercendo importante papel na distribuição de *D. rotundus*, levando a um aumento na ocorrência de casos de raiva animal (Ulloa-Stanojlovic e Dias, 2020; Meza et al., 2022). Dessa forma, a disseminação do VRAV para regiões indenes tem sido atribuída aos movimentos

interseccionais de morcegos infectados (Streicker et al., 2012).

Os mecanismos de dispersão de quirópteros na disseminação do VRAV ainda não estão totalmente elucidados (Ortega-Sánchez et al., 2024) e uma compreensão mais completa dessas dinâmicas melhoraria nossa capacidade de conservar os morcegos e prevenir surgimento de doenças infecciosas em animais e humanos (Blakey et al., 2019).

Portanto, objetivou-se identificar fatores geoespaciais de risco associados à ocorrência de casos de raiva com base em dados relacionados a incêndios florestais e redução da superfície de água. Os resultados da análise podem ser úteis no planejamento de estratégias voltadas para prevenção da disseminação da raiva animal e humana.

2 | Material e Métodos

Este estudo retrospectivo utilizou dados históricos de casos de raiva em bovinos e equídeos notificados no estado do Maranhão, no período de 2006 a 2022. As informações sobre os casos da raiva foram disponibilizadas pela Agência de Defesa Agropecuária do Maranhão (MARANHÃO, 2022). O diagnóstico laboratorial foi realizado por meio de identificação do antígeno viral por imunofluorescência direta e isolamento viral em cultivo celular ou inoculação em camundongos (prova biológica) conforme indicado pelo Programa Nacional de Controle da Raiva dos Herbívoros (BRASIL, 2020). A taxa de incidência de raiva (TIR) foi calculada dividindo-se o número de casos de raiva pelo tamanho do rebanho em cada microrregião geográfica (MR), multiplicando-se o resultado por 100.000 considerando as espécies analisadas.

2.1 | Área de estudo

O estudo foi realizado no estado do Maranhão, região nordeste do Brasil. O estado possui população de aproximadamente 7,1 milhões de habitantes e uma área de cerca de 331 mil km² com extensa linha costeira com o Oceano Atlântico e uma grande área para a criação de gado com aproximadamente 9,4 milhões de cabeças. A pecuária no Maranhão beneficia-se das pastagens naturais da região e tem um papel relevante na economia do estado (IBGE, 2023). O Maranhão

possui 217 municípios agrupados em 21 MRs (IBGE, 2017) as quais foram consideradas, neste estudo, como unidades geográficas de análise (Figura 1).

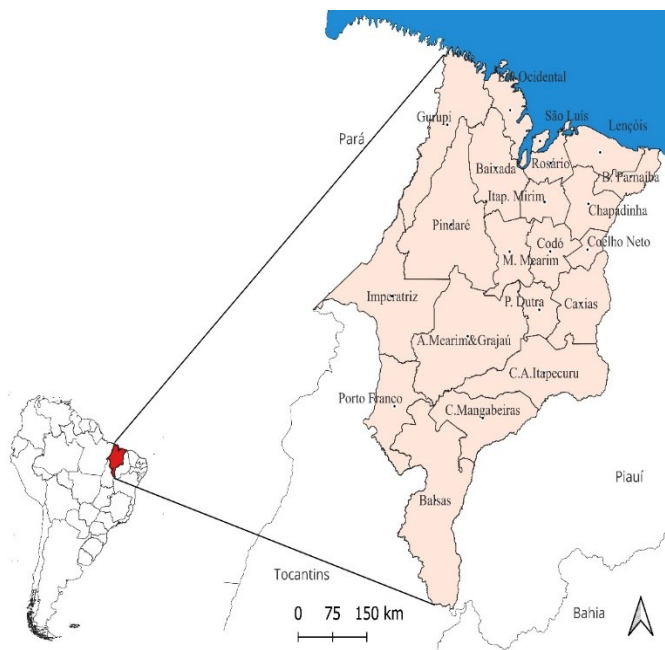


Figura 1. Mapas da área de estudo. Mapa menor: localização do Maranhão na América do Sul. Mapa maior: divisão do estado do Maranhão em 21 microrregiões. Brasil, 2024. Fonte: Base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

2.2 | Modelagem Estatística

As variáveis preditivas testadas foram: (1) variação (perda ou ganho) da superfície da terra coberta por corpos d'água (código: p.agua); (2) área queimada (cicatrizes na vegetação causadas por incêndios) (código: c.fogo); (3) área de desmatamento (variação da cobertura da terra por vegetação florestal e não florestal (código: p.vegetal); e (4) frequência de eventos de focos de incêndios (código: f.incendio). As áreas impactadas estão em hectares e correspondem à soma dos valores anuais acumulados durante o período de 2005 a 2021. Na modelagem foram ajustados pela área de cada MR em km² (Tabela 1).

Os dados utilizados na pesquisa foram coletados diretamente dos sites das instituições. As bases cartográficas e informações sobre rebanhos são do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). Os dados sobre áreas com cicatrizes causadas por incêndios, sobre perda de cobertura de água e as áreas de desmatamento são fornecidas pelo Projeto Mapbiomas (2023a; 2023b; 2023c). As

informações sobre frequência de focos de incêndio foram obtidas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2023). Os dados baixados estavam organizados por municípios e foram filtrados e agrupados em microrregiões.

A verificação estatística da associação espacial entre a variável dependente e as variáveis preditivas foi conduzida em duas etapas: (i) aplicação do modelo de regressão de Poisson, um tipo de modelo linear generalizado (GLM); e (ii) cálculo do Índice Local Bivariado de Moran (BiLISA) (Moran, 1971).

O modelo de regressão de Poisson é usado para modelar contagens de eventos em relação a um ou mais preditores. Para comparar a TIR em microrregiões foram incluídos seus respectivos rebanhos bovino-equino como fator de ajuste (*offset*) para equilibrar os diferentes níveis de exposição (Travis-Lumer et al., 2022). A estatística BiLISA compara valores de uma variável observada numa determinada região com valores de outra variável, observados em unidades vizinhas (Anselin et al., 2006). Indica a contribuição local de cada observação em quatro categorias (alta-alta; baixa-baixa; alta-baixa e baixa-alta) e varia de -1 a 1 (indicando autocorrelação espacial negativa e positiva, respectivamente (Anselin, 1995).

A matriz de ponderação espacial (W) define a estrutura de dependência espacial. As MRs vizinhas foram aquelas que compartilham uma fronteira ou um canto comum. A definição da matriz de peso em 4 vizinhos (W=4) permitiu alcançar os valores máximos do BiLISA (Baumont et al., 2004). A escolha levou em conta o tamanho médio das MRs e a capacidade de deslocamento dos morcegos para áreas adjacentes a 10km² (Benavides et al., 2016).

Os mapas de agrupamento foram gerados por meio de um processo de randomização com 999 permutações de Monte Carlo. Isso ajudou a criar uma distribuição de valores de BiLISA esperados sob a hipótese nula de ausência de associação espacial (Pfeiffer et al., 2008). O limite de significância foi 0,05.

A construção do modelo de regressão de Poisson foi realizada utilizando o *software* de código aberto RStudio (versão 4.3.1), com o pacote MASS. A análise geoespacial foi realizada no *software* GeoDa (versão 1.20.0.36). Para a criação dos mapas e a plotagem dos casos, utilizou-se o *software* QGIS (versão 3.32). O banco de dados foi elaborado em planilhas eletrônicas no MS Excel (versão 2013).

Tabela 1. Microrregiões geográficas (MR), rebanho bovino e equino, e variáveis explicativas utilizadas no modelo de regressão de Poisson. Maranhão, Brasil, 2024

Microrregião	Casos de Raiva	Rebanho bovino e equino	Frequência de incêndios (eventos/km²)	Cobertura vegetal (ha/km²)	Cicatrizes de fogo (ha/km²)	Cobertura de água (ha/km²)
Litoral Ocidental	30	50.234	0,49	0,13	6,12	0,923
Aglomerado Urbana de São Luís	0	4.790	0,30	7,30	4,38	0,47
Rosário	11	30.619	0,83	6,39	7,29	0,24
Lençóis Maranhenses	1	22.383	0,97	8,01	3,33	0,85
Baixada Maranhense	11	426.219	0,85	1,98	17,09	0,38
Itapecuru Mirim	2	106.502	1,19	14,61	14,49	0,02
Gurupi	11	338.470	0,80	3,87	17,59	0,29
Pindaré	12	1.702.406	1,22	4,15	22,76	-0,01
Imperatriz	17	1.672.812	0,75	9,80	22,92	0,02
Médio Mearim	5	742.127	0,85	1,32	14,94	0,09
Alto Mearim e Grajaú	8	1.138.972	1,84	16,69	26,10	0,05
Presidente Dutra	13	368.539	1,01	25,11	27,70	0,07
Baixo Parnaíba	0	42.643	1,59	18,85	13,74	0,72
Chapadinha	0	44.987	1,42	20,21	15,70	0,06
Codó	8	264.180	1,19	15,46	19,66	0,03
Coelho Neto	0	17.496	1,23	16,95	21,13	0,02
Caxias	5	205.354	1,47	20,67	26,44	0,08
Chapada do Itapecuru	5	384.677	1,96	12,89	23,33	0,03
Porto Franco	2	584.583	0,88	17,65	13,94	-0,89
Gerais de Balsas	0	371.029	1,22	12,66	9,67	0,02
Chapada das Mangabeiras	0	276.086	1,40	13,58	14,21	0,04

Fontes: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), MapBiomas e Agência de Defesa Agropecuária do Maranhão (AGED-MA).

3 | Resultados

No período de 2006 a 2022, foram notificados no Maranhão 157 casos de raiva animal, dos quais 144 ocorreram em bovinos e equinos. A TIR foi de 1,6 casos para cada 100.000 animais. As maiores TIR foram identificadas nas MRs do Litoral Ocidental e Rosário, enquanto, as MRs de Codó, Presidente Dutra e Gurupi obtiveram índices medianos. TIR mais baixas foram observadas no sul, sudoeste e nordeste do estado. Seis MRs não relataram caso de raiva em animais (Figura 2).

Os maiores rebanhos bovino e equino do Maranhão estão localizados na sua região centro-oeste. Já o nordeste do estado, incluindo as regiões litorâneas, apresentou menores concentrações de animais, destacando-se as MRs de São Luís, Coelho Neto, Lençóis, Chapadinha, Rosário e Litoral Ocidental (Figura 3).

4 | Discussão

O modelo de regressão de Poisson indicou que três variáveis apresentaram valores significativos indicando associação com a ocorrência de raiva: As variáveis p.água e p.vegetal apresentaram valores de índice de Moran positivo, sugerindo que níveis elevados de perda de água e maior redução na cobertura vegetal estão associados a uma maior frequência de casos da virose. Já a variável i.foco apresentou coeficiente negativo (Tabela 2).

As técnicas de análise espacial e de modelagem têm o potencial de aprimorar a especificidade das relações entre a exposição e a incidência de doenças, reduzindo erros de medição e enriquecendo nossa compreensão das relações entre o ambiente e a saúde (Auchincloss et al., 2012).

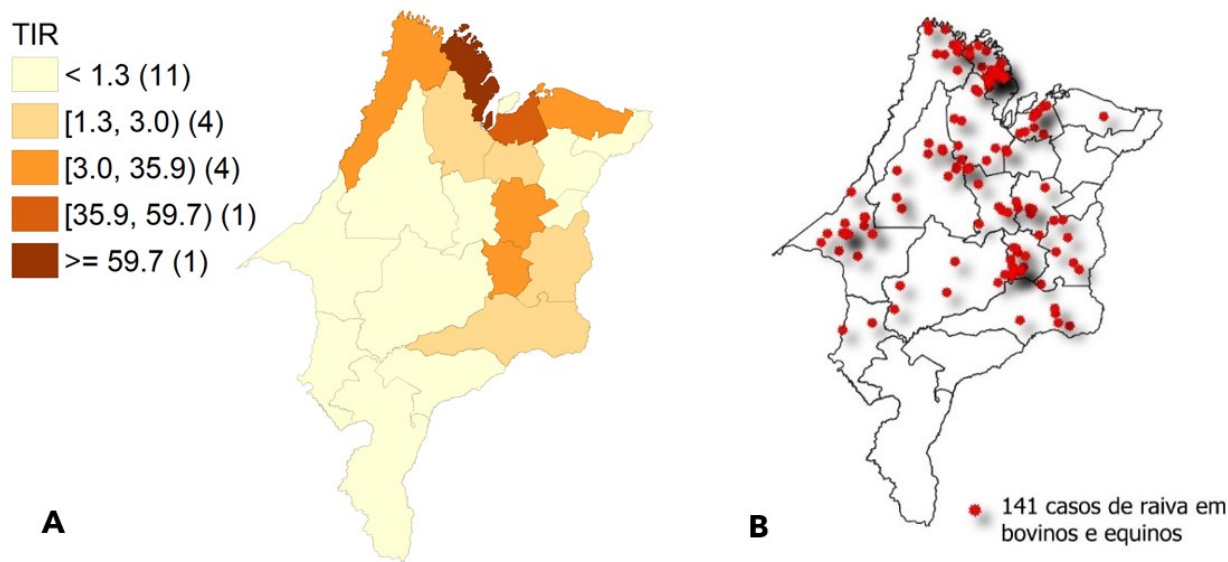


Figura 2. (A) Mapa coroplético de distribuição da taxa de incidência de raiva (TIR) em bovinos e equinos por microrregião (MR); (B) Plotagem dos casos de raiva (pontos em vermelho). Maranhão, Brasil, 2006 a 2022. Fonte: Base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); dados sobre raiva da Agência de Defesa Agropecuária do Maranhão (AGED-MA).

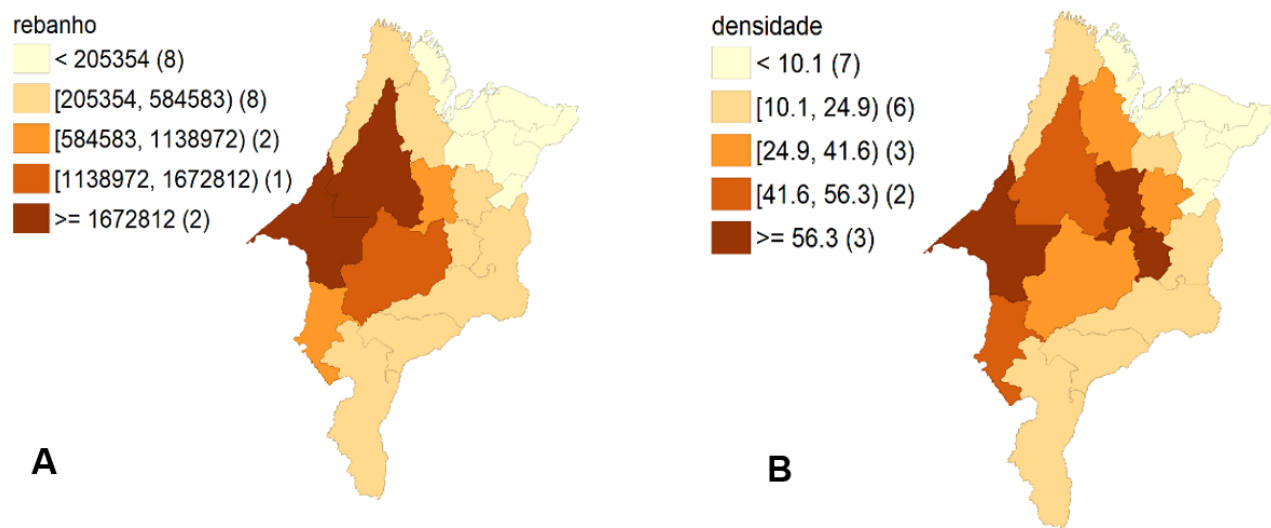


Figura 3. Mapas coropléticos das microrregiões (MRs) maranhenses mostrando: (A) tamanho dos rebanhos bovino e equino; (B) densidade dos rebanhos bovino e equino. Áreas mais escuras indicam maior quantidade e densidade de rebanhos. Maranhão, Brasil, 2024. Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

4.1 | Associação entre frequência de incêndios e TIR

Nos últimos anos, os regimes de fogo no Brasil foram particularmente intensificados: os incêndios tornaram-se mais frequentes. Além disso, grandes incêndios florestais se espalham por vegetação resistente e sensível ao fogo, causando grandes impactos ecológicos negativos (Schmidt et al., 2020).

A variável focos de incêndio apresentou BiLISA de -0,270. A Figura 4 mostra que as MRs Balsas e Chapada do Alto Itapecuru apresentaram um

comportamento do tipo baixo-alto, ou seja, uma reduzida incidência de raiva associada a um elevado índice de incêndios nas MR adjacentes. Já no norte do estado, as queimadas foram menos frequentes e a TIR teve maior variação entre as MR.

As MRs da Baixada, São Luís e Gurupi se destacaram como áreas de baixa incidência de raiva, enquanto o Litoral Ocidental apresentou comportamento do tipo alto-baixo, correspondendo a uma alta incidência associada à baixa frequência de incêndios entre os vizinhos. A MR de Gurupi com TIR = 3,25 (Figura 2A) está inserida em área de padrão

baixo-baixo (Figura 4B) pois as MR adjacentes têm TIR comparativamente mais elevadas.

Gomes e Monteiro (2011) constataram que regiões com menores índices pluviométricos e áreas mais quentes apresentavam menor prevalência da enfermidade. A estreita relação entre regimes de precipitações e a dinâmica do fogo florestal ajudam a explicar as menores TIR nas regiões com maior

frequência de focos de incêndios. Nesse contexto, Oliveira et al. (2023) acrescentam que os incêndios impactam a vegetação autóctone e a diversidade biológica e podem acarretar não somente uma elevada taxa de mortalidade dos animais, mas também a destruição de refúgios naturais, levando à migração para regiões vizinhas, com potencial efeito sobre a disseminação do VRAV.

Tabela 2. Resultados da regressão de Poisson para a taxa de incidência de raiva (TIR) em relação às variáveis predictoras: frequência de incêndios (f.incendio), desmatamento (p.vegetal), superfície de água (p.agua) e cicatrizes de fogo (c.fogo) em microrregiões. Maranhão, Brasil, 2006-2022

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	p.valor
f.incendio	-1,321	0,0,302	<0,001
p.vegetal	0,053	0,0,015	<0,001
p.agua	3,40	0,0,399	<0,001
c.fogo	-0,02	0,0,020	0,311

As baixas TIR na região sul do Maranhão, onde houve maior frequência de incêndios indicam associação negativa entre esta variável, sugerindo, isoladamente, um efeito protetor do fogo sobre a raiva. Este achado corrobora observações de Oliveira et al. (2023), segundo as quais os incêndios impactam a vegetação autóctone e a diversidade biológica e podem acarretar não somente uma elevada taxa de mortalidade dos animais, mas também a destruição de refúgios naturais, levando à migração para regiões

distintas, com potencial efeito sobre a disseminação do VRAV.

Por outro lado, no norte do estado, as queimadas não parecem ter exercido qualquer influência sobre a elevada incidência de raiva nas MRs da Litoral Ocidental e Rosário. É necessário considerar, entretanto, a baixa densidade de animais nesta área, pois o poder do BiLISA de detectar um agrupamento de doenças depende da população em risco em cada unidade geográfica (Waller et al., 2006).

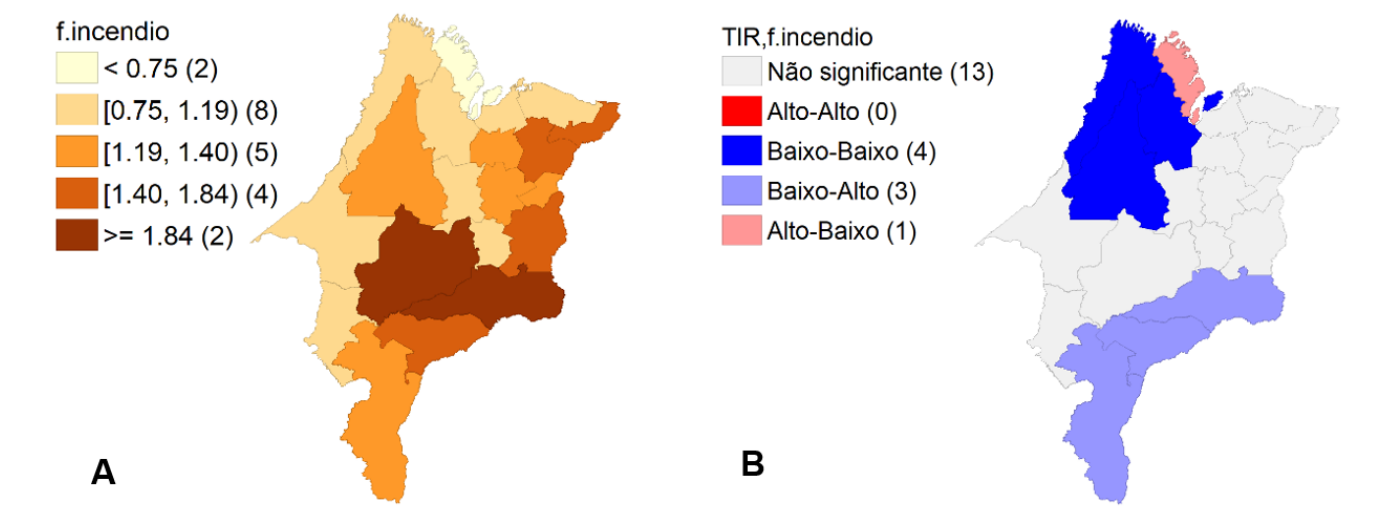


Figura 4. (A) Mapa coroplético de distribuição de focos incêndios em microrregiões (MR); (B) Mapa de agrupamento espacial obtido por meio do Índice Local Bivariado de Moran (BiLISA) para a taxa de incidência de raiva (TIR) em relação à frequência de focos de incêndios (f.incendio), no Maranhão, Brasil, entre 2006 e 2022. A análise utilizou 999 permutações e w = 4, que representa o número de vizinhos considerados. O resultado do teste (BiLISA = -0,270) indica uma associação espacial negativa entre a frequência de focos de incêndios e a TIR nas microrregiões adjacentes. As cores do mapa evidenciam os diferentes padrões de agrupamento espacial, com o número de microrregiões indicado entre parênteses.

4.2 | Associação entre o desmatamento e a TIR

O desmatamento no Maranhão foi mais acentuado nas MRs de Chapadinha, Caxias e Presidente Dutra e menor nas MRs de Litoral Ocidental, Baixada maranhense e Médio Mearim (Figura 5A). O valor do BiLISA para a variável perda de vegetação foi de -0.237. Isso sugere que a virose tem maior ocorrência em áreas menos desmatada. Já a MR do Litoral Ocidental teve comportamento alto-baixo (Figura 5B, área rosada) pois seus vizinhos sofreram níveis de desmatamento abaixo da média

Por outro lado, as MRs de Coelho Neto, Caxias e Alto Itapecuru apresentaram incidência reduzida de raiva animal associada ao desmatamento acima da média dos seus vizinhos (Figura 5B, área em azul claro). Quatro MRs apresentaram comportamento baixo-baixo (áreas em azul escuro) e as demais não foram significativas.

A associação positiva entre desmatamento e índice de incidência de raiva observada nesse estudo está de acordo com estudos anteriores (Brasil, 2009). A perda de vegetação favorece a disseminação da raiva por reduzir a disponibilidade de espécies de presas naturais, colocando os quirópteros transmissores em contato com o gado e o ser

humano (Jhonsson et al., 2014). Neste sentido, Rocha et al. (2019) observaram que o desmatamento reduziu a abundância de presas selvagens de *D. rotundus*, mas forneceu novos abrigos e recursos de alimentação, permitindo que eles se adaptassem às mudanças antrópicas.

4.3 | Associação entre a perda superficial de água e a TIR

A maior perda de água ocorreu no norte do estado, próximo à costa, sendo baixa e uniforme nas outras áreas (Figura 6A). O teste BiLISA apontou relação positiva sugerindo que a perda de água está relacionada ao crescimento de incidência da raiva animal.

As MRs que apresentaram efeitos do tipo baixo-alto (áreas em azul claro) foram Gurupi, São Luís e Lençóis. Outras MRs localizadas no sul e sudeste registraram baixa perda de água e baixa incidência de raiva entre os vizinhos (área em azul escuro). Por outro, a maior incidência de raiva observada na MR do Rosário (área em vermelho) parece estar associada ao alto índice de perda d'água ocorrido nas MRs adjacentes (Figura 6B).

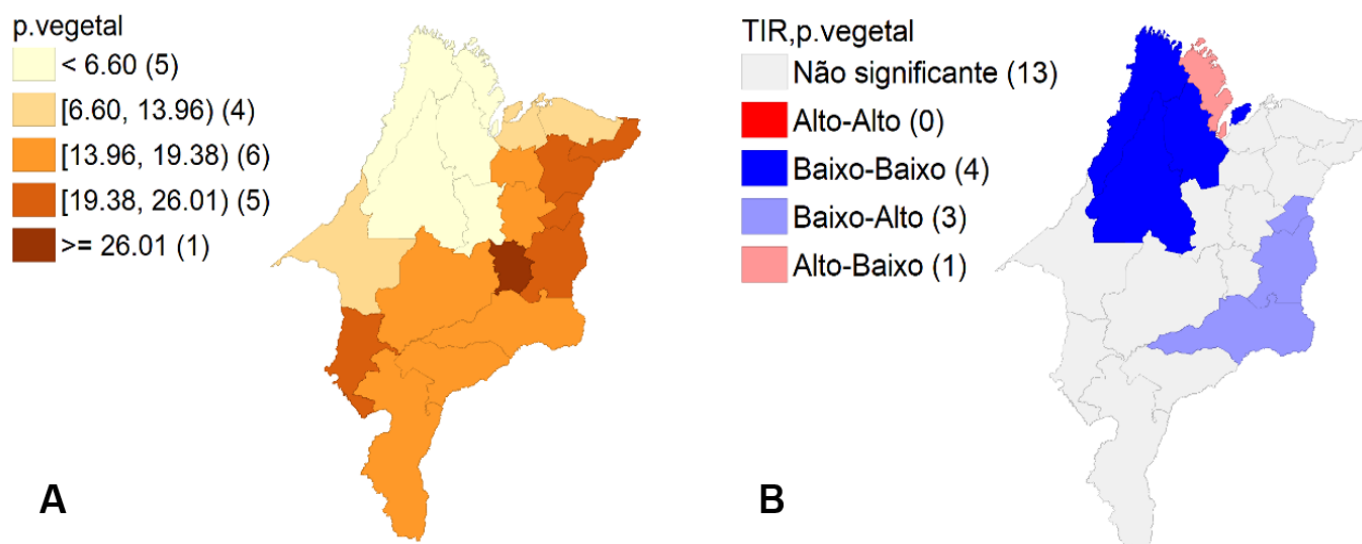


Figura 5. (A) Mapa coroplético da variação de cobertura vegetal por microrregião; (B) Mapa de agrupamento espacial obtido por meio do Índice Local Bivariado de Moran (BiLISA) para a taxa de incidência de raiva (TIR) e o desmatamento (p.vegetal), no Maranhão, Brasil, entre 2006 e 2022. A análise utilizou 999 permutações e $w = 4$, que representa o número de vizinhos considerados. O valor do teste (BiLISA = -0,227) sugere que o aumento do desmatamento está associado a uma TIR reduzida nas microrregiões adjacentes. Isso pode estar associado à perda de habitat e redução na população de morcegos vampiros. As cores do mapa evidenciam os diferentes padrões de agrupamento espacial, com o número de microrregiões indicado entre parênteses.

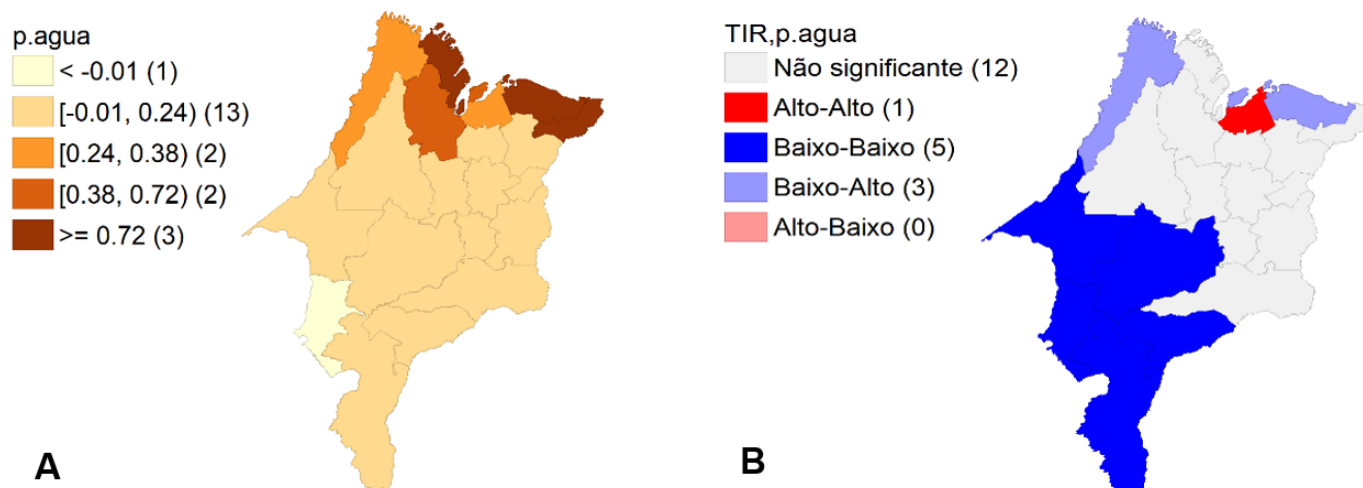


Figura 6. (A) Mapa coroplético da variação de cobertura de água por microrregião (MR); (B) Mapa de agrupamento espacial obtido por meio do Índice Local Bivariado de Moran (BiLISA) para a taxa de incidência de raiva (TIR) em relação à perda de superfície hídrica (p.agua), no Maranhão, Brasil, entre 2006 e 2022. A análise utilizou 999 permutações e $w = 4$, que representa o número de vizinhos considerados. O resultado do teste (BiLISA = 0,221, $p \leq 0,05$) sugere que o aumento da perda de superfície hídrica está relacionado ao aumento da TIR nas microrregiões vizinhas, isso pode estar relacionado a maior aproximação e contato entre colônias de morcegos vampiros. As cores do mapa evidenciam os diferentes padrões de agrupamento espacial, com o número de microrregiões indicado entre parênteses.

Neste contexto, estudos mostram que o desmatamento pode causar mudanças importantes no ciclo da água (Vergopolan e Fisher, 2016), pois altera e reduz o habitat natural de diferentes espécies animais, causando migrações, frequentemente, relacionadas a emergência de doenças infecciosas (Silva e Angerami, 2008; Ellwanger et al., 2020). Desse modo, o estresse causado pela redução das fontes naturais de água pode estar relacionado a movimentos de migração de morcegos e outros animais silvestres, elevando a possibilidade de contato entre colônias e facilitando a disseminação do VRAV.

Pode-se apontar como limitações deste estudo o número reduzido de casos avaliados e ausência de uma análise longitudinal para acompanhar mudanças ao longo do tempo, e cuidados sanitários dos rebanhos, como vacinação contra raiva animal, além disso, o efeito fronteira com outros estados não foram considerados.

5 | Conclusão

Esta pesquisa constata a complexa interação entre a incidência de raiva animal e os impactos do aquecimento ambiental. Os resultados sugerem que seus impactos ambientais causados pelo fogo não devem ser considerados como um meio eficaz de prevenção da raiva, pois podem apenas contribuir

para deslocamento dos animais transmissores potencialmente infectados para áreas vizinhas menos impactadas. São necessárias mais investigações sobre o papel de outras variáveis, como disponibilidade e comportamento de presas silvestres, na dinâmica da transmissão da raiva dos herbívoros. Recomenda-se adoção, planejamentos e estratégias de controle e prevenção da raiva animal, de medidas de mitigação dos impactos ambientais causados pelo fogo e de gestão de recursos hídricos, especialmente nas regiões de maior risco apontadas neste estudo.

6 | Declaração de Conflito de Interesse

Não há conflitos de interesse a declarar.

7 | Comitê de Ética

A execução desta pesquisa dispensou a necessidade de obtenção de licenças éticas.

8 | Agradecimentos

Agradecemos aos servidores da Agência de Defesa Agropecuária do Maranhão e do Projeto Mapbiomas que gentilmente nos forneceram dados utilizados na pesquisa.

9 | Referências

- Anselin, L. Local indicators of spatial association—LISA. **Geographical Analysis**, 27: 93-115, 1995.
- Anselin, L.; Syabri, I.; Kho, Y. GeoDa: an introduction to spatial data analysis. **Geographical Analysis**, 38: 5-22, 2006.
- Auchincloss, A.H. et al. A review of spatial methods in epidemiology, 2000-2010. **Annual Review of Public Health**, 33: 107-122, 2012.
- Baumont, C.; Ertur, C.; Le Gallo, J. Spatial analysis of employment and population density: The case of the agglomeration of Dijon 1999. **Geographical Analysis**, 36: 146-176, 2004.
- Benavides, J.A. et al. Spatial expansions and travelling waves of rabies in vampire bats. **The Royal Society**, 283: 20160328, 2016.
- Benavides, J.A. et al. Defining new pathways to manage the ongoing emergence of bat rabies in Latin America. **Viruses**, 12: 1002, 2020.
- Blakey, R.V. et al. Bats in a changing landscape: linking occupancy and traits of a diverse montane bat community to fire regime. **Ecology and Evolution**, 9: 5324-5337, 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Controle da raiva dos herbívoros: manual técnico**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 124 p. Disponível em: <Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/programas-de-saude-animal/raiva-dos-herbivoros-e-eeb/cartazes/manual_raiva-herbivoros-2009.pdf/view>. Acesso em: 28 fev. 2025.
- BRASIL. Departamento de Saúde Animal e Insumos Pecuários. **Raiva dos herbívoros**. Ficha técnica. Abril 2020. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/ficha_s_tecnicas/ficha_tecnica.html>. Acesso em: 02 out. 2024.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Sistema Nacional de Informação Zoossanitária**. 2024. Disponível em: <https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/Saude_animal/Saude_animal.html>. Acesso em: 01 out. 2024.
- Cabral, C. et al. Circulation of the rabies virus in non-hematophagous bats in the city of Rio de Janeiro, Brazil, during 2001-2010. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, 45(2): 180-183, 2012.
- Ellwanger, J.H. et al. Beyond diversity loss and climate change: impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 92(1): e20191375, 2020.
- Gomes, M.N.; Monteiro, A.M.V. Raiva bovina no estado de São Paulo e sua distribuição espacial entre 1992 e 2003. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 63(2): 279-286, 2011.
- Govender, N. et al. The effect of fire season, fire frequency, rainfall, and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. **Journal of Applied Ecology**, 43: 748-758, 2006.
- Harper, A.R. et al. Prescribed fire and its impacts on ecosystem services in the UK. **Science of The Total Environment**, 624: 691-703, 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**. Brasília: IBGE, 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html>>. Acesso em: 01 out. 2024.
- IBGE. Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa da Pecuária Municipal**. Brasília: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **BDQueimadas. São Paulo. São José dos Campos: INPE, 2023**. Disponível em: <<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/>>. Acesso em: 03 out. 2024.
- Johnson, N.; Aréchiga-Ceballos, N.; Aguilar-Setien, A. Vampire bat rabies: ecology, epidemiology and control. **Viruses**, 6(5):1911-1928, 2014.
- MARANHÃO. Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Maranhão. **Ofício 1288/22/GAB/AGED/MA. Casos de Raiva em herbívoros, ocorridos no Maranhão, no período de 2006 a 2022**. São Luís, 10 de novembro de 2022.
- Maravalhas, J.; Vasconcelos, H.L. Revisiting the pyrodiversity-biodiversity hypothesis: long-term fire regimes and the structure of ant communities in a Neotropical savanna hotspot. **Journal of Applied Ecology**, 51: 1661-1668, 2014.
- Meza, D.K. et al. Ecological determinants of rabies virus dynamics in vampire bats and spillover to livestock. **Proceedings of the Royal Society B**, 289: 20220860, 2022.

Mantovan, K.; Menozzi, B.; Paiz, L.; Sevá, A.; Brandão, P.; Langoni, H. Geographic distribution of common vampire bat *Desmodus rotundus* (Chiroptera: Phyllostomidae) shelters: implications for the spread of rabies virus to cattle in southeastern Brazil. **Pathogens**, 11(8): 942, 2022.

Moran, P.A.P. Maximum-likelihood estimation in non-standard conditions. **Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society**, 70: 441-450, 1971.

Oliveira, U. et al. A near real-time web-system for predicting fire spread across the Cerrado biome. **Scientific Reports**, 13: 4829, 2023.

OMS. Organização Mundial da Saúde; OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. **Programa Regional das Américas para Prevenção e Controle da Raiva Transmitida pelo Morcego Hematófago (*D. rotundus*) em Animais de Produção Suscetíveis**. 2021. 36 p.

Ortega-Sánchez, R. et al. Spatial-temporal risk factors in the occurrence of rabies in Mexico. **Geospatial Health**, 19: 1245, 2024.

Pfeiffer, D.U. et al. **Spatial Analysis in Epidemiology**. Online edn. Oxford: Oxford Academic, 2008. 142p..

Projeto MapBiomias. **Mapeamento de cicatrizes de fogo no Brasil, Coleção 3, São Paulo, Brasil**. 2023a. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/estatisticas/>> Acesso em: 05 jan. 2024.

Projeto MapBiomias. **Coleção 2. Superfície de Água. Mapbiomas água**. São Paulo, Brasil 2023b. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/estatisticas/>> Acesso em: 05 jan. 2023.

Projeto MapBiomias. **Coleção 8. Relatório Anual de Desmatamento 2022**. São Paulo, Brasil. 2023c. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/estatisticas/>> Acesso em: 05 jan. 2023.

Rocha, S.; Oliveira, S.; Heinemann, M.; Gonçalves, V. Epidemiological Profile of Wild Rabies in Brazil (2002-2012). **Transboundary and Emerging Diseases**, 64: 624-633, 2017.

Rocha, F. et al. Relations between topography, feeding sites, and foraging behavior of the vampire bat, *Desmodus rotundus*. **Journal of Mammalogy**, 101: 164-171, 2019.

Silva, L.J.; Angerami, R.N. **Víroses emergentes no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2008. 23p.

Souza, L.C. et al. Vigilância epidemiológica da raiva na região de Botucatu-SP: importância dos quirópteros na manutenção do vírus na natureza. **Ars Veterinaria**, 21: 062-068, 2005.

Schmidt, I.B.; Eloy, L. Fire regime in the Brazilian Savanna: recent changes, policy and management. **Flora**, 268: 151613, 2020.

Steel, Z.L. et al. The effects of wildfire severity and pyrodiversity on bat occupancy and diversity in fire-suppressed forests. **Scientific Reports**, 9: 16300, 2019.

Stephens, S.L. et al. Temperate and boreal forest mega-fires: characteristics and challenges. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 12: 115-122, 2014.

Streicker, D.G. et al. Ecological and anthropogenic drivers of rabies exposure in vampire bats: implications for transmission and control. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, 279: 3384-3392, 2012.

Travis-Lumer, Y. et al. Effect size quantification for interrupted time series analysis: implementation in R and analysis Covid-19 research. **Emerging Themes in Epidemiology**, 19: 9, 2022.

Ulloa-Stanojlovic, F.M.; Dias, R.A. Spatio-temporal description of bovine rabies cases in Peru, 2003-2017. **Transboundary and Emerging Diseases**, 67(1688-96): 1688-1696, 2020.

Waller, L.A. et al. The geography of power: statistical performance of tests of clusters and clustering in heterogeneous populations. **Statistics in Medicine**, 25: 853-865, 2006.

Vergopolan, N.; Fisher, J.B. The impact of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia as observed from remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, 37(22): 5412-5430, 2016.