



**Uema**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL  
DO MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM DEFESA SANITÁRIA  
ANIMAL – CURSO DE DOUTORADO

JOSÉ WENDEL ARAUJO SOARES

RAIVA DOS HERBÍVOROS NA REGIÃO DA FLORESTA DOS GUARÁS,  
MARANHÃO: interações entre fatores ambientais, socioculturais e a dinâmica de  
*Desmodus rotundus*

São Luís, 2025

JOSÉ WENDEL ARAUJO SOARES

**RAIVA DOS HERBÍVOROS NA REGIÃO DA FLORESTA DOS GUARÁS,  
MARANHÃO: interações entre fatores ambientais, socioculturais e a dinâmica  
de *Desmodus rotundus***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Defesa Sanitária Animal, da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), como requisito para obtenção do título de Doutor em Defesa Sanitária Animal.

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Socorro Costa Oliveira

São Luís, 2025

Soares, José Wendel Araújo.

Raiva dos herbívoros na Região da Floresta dos Guarás, Maranhão: interações entre fatores ambientais, socioculturais e a dinâmica de *Desmodus rotundus* / José Wendel Araújo Soares. – São Luís (MA) 2025.

149 p.

Tese (Doutorado Profissional em Defesa Sanitária Animal) Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, 2025.

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Socorro Costa Oliveira.

1. Raiva animal. 2. *Desmodus rotundus*. 3. Fatores ambientais. Título.

CDU: 619:616.98

**Elaborado por**

## JOSÉ WENDEL ARAUJO SOARES

**RAIVA DOS HERBÍVOROS NA REGIÃO DA FLORESTA DOS GUARÁS,  
MARANHÃO: interações entre fatores ambientais, socioculturais e a dinâmica  
de *Desmodus rotundus***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
Profissional em Defesa Sanitária Animal, da  
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA),  
requisito para obtenção do título de Doutor em Defesa  
Sanitária Animal.

Aprovada em 30 de novembro de 2025.

### BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria do Socorro Costa Oliveira (Orientadora)  
Universidade Estadual do Maranhão



MARIA DO SOCORRO COSTA OLIVEIRA  
Data: 29/01/2026 10:52:10-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Viviane Correia Silva Coimbra  
Universidade Estadual do Maranhão



VIVIANE CORREIA SILVA COIMBRA  
Data: 19/03/2026 16:28:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dr. Hamilton Pereira Santos  
Universidade Estadual do Maranhão



HAMILTON PEREIRA SANTOS  
Data: 29/01/2026 13:19:06-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Roberto Carlos Negreiros de Arruda  
Ministério de Agricultura e Pecuária



ROBERTO CARLOS NEGREIROS DE ARRUDA  
Data: 20/03/2026 19:47:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Eric Takashi Kamakura de Carvalho Mesquita  
Agencia de defesa Agropecuária do Maranhão



ERIC TAKASHI KAMAKURA DE CARVALHO MESQUITA  
Data: 17/04/2026 18:43:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedico esta tese a Deus e à minha família, em especial à minha companheira, Diane Maria, e ao meu filho, Leonardo, que estiveram ao meu lado em todos os momentos desta jornada. Dedico-a também à memória de meu pai, José, e de minha mãe, Maria, que me ensinaram os valores essenciais da vida. Ao pequeno Felipe, cuja breve passagem me tornou mais humano.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela força nos momentos de incerteza e pela sabedoria concedida para seguir com coragem e serenidade cada etapa desta jornada acadêmica.

À minha família, base de todas as conquistas, pelo amor, paciência e incentivo constante. Aos meus pais, por me ensinarem o valor da honestidade, da humildade e da perseverança. À minha esposa e filhos, pelo apoio incondicional, pela compreensão diante das ausências e por serem minha maior motivação.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria do Socorro Costa Oliveira, pela orientação dedicada, pela confiança e pela inspiração científica ao longo de todo o desenvolvimento desta tese. Sua paciência e incentivo foram fundamentais para o amadurecimento acadêmico e pessoal que este trabalho proporcionou.

À Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) e ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Defesa Sanitária Animal, pela oportunidade e estrutura que tornaram possível a realização deste doutorado.

Aos colegas e professores do Programa, pelas discussões produtivas e pela convivência enriquecedora. À equipe da Agência Estadual de Defesa Agropecuária do Maranhão (AGED-MA), pelo apoio técnico e logístico nas coletas e análises de dados de campo.

Aos produtores rurais da Floresta dos Guarás, pela acolhida, disponibilidade e valiosas informações compartilhadas durante as entrevistas e visitas às propriedades. Aos colegas e amigos que participaram das atividades de campo, muitas vezes em condições adversas, minha sincera gratidão.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização desta pesquisa e para o fortalecimento da vigilância da raiva animal e da conservação dos morcegos hematófagos no Maranhão. Este trabalho é também resultado do esforço coletivo de pessoas comprometidas com a ciência, a saúde pública e o equilíbrio entre o homem e o meio ambiente.

## RESUMO

A raiva dos herbívoros constitui um relevante problema sanitário e econômico para a pecuária brasileira, tendo o morcego hematófago *Desmodus rotundus* como principal vetor do vírus rábico em áreas rurais. Esta tese analisou a dinâmica espacial da raiva animal no estado do Maranhão e os padrões de espoliações causadas por morcegos hematófagos na Região da Floresta dos Guarás, integrando fatores ecológicos, ambientais e socioculturais em diferentes escalas espaciais. Foram utilizados dados oficiais de focos de raiva em bovinos e equinos no período de 2005 a 2024, registros de 475 expedições noturnas para captura de *D. rotundus* (das quais 384 foram bem-sucedidas, correspondendo a 80,84% de sucesso) e 170 entrevistas estruturadas com produtores rurais. As análises envolveram estatística espacial exploratória, estimativas de densidade de Kernel, Índice Local Bivariado de Moran (BiLISA), regressão de Poisson e modelagem preditiva por Random Forest (RF), complementadas por testes estatísticos não paramétricos. No diagnóstico estadual, observou-se distribuição espacial heterogênea da raiva, com maior incidência nas microrregiões do norte do Maranhão, associada positivamente à perda de superfície hídrica ( $p < 0,05$ ), enquanto a frequência de incêndios florestais e o desmatamento apresentaram associação negativa com a taxa de incidência da doença ( $p < 0,05$ ). Na Região da Floresta dos Guarás, o modelo RF para predição das espoliações por MH apresentou elevado desempenho preditivo, com AUC  $> 0,80$ , sendo a densidade animal a variável de maior importância (MDA = 39,86; MDG = 35,99), seguida pela distância a corpos d'água. As espoliações concentraram-se predominantemente em áreas de menor declividade, maior densidade de rebanhos e paisagens florestais menos fragmentadas. Foram capturados e tratados 1.174 morcegos, com predominância de fêmeas (61,0%), porém não se associaram à redução proporcional das espoliações. As entrevistas indicaram que 67,1% dos produtores relataram histórico de espoliação, com predominância de ataques a bovinos (64,6%), além de baixo nível de conhecimento sobre a ecologia dos morcegos e maior predisposição à destruição de abrigos entre produtores com menor escolaridade e histórico prévio de ataques. Em conjunto, os resultados demonstram que a raiva e as espoliações por morcegos respondem de forma distinta às alterações antrópicas da paisagem, embora compartilhem determinantes ambientais comuns, reforçando a necessidade de estratégias integradas de vigilância epidemiológica, educação sanitária, manejo ambiental e conservação da fauna silvestre. Como produtos da pesquisa, foram gerados um artigo científico sobre associação entre desmatamento, queimadas, estiagem e incidência da raiva animal no Maranhão e um manual técnico para o manejo e controle ético de MH, alinhado às diretrizes do Programa Nacional de Controle da Raiva dos Herbívoros.

**Palavras-chave:** raiva. quirópteros. herbívoros. fatores socioambientais.

## ABSTRACT

Rabies in herbivores represents a significant sanitary and economic problem for Brazilian livestock production, with the vampire bat *Desmodus rotundus* acting as the main vector of the rabies virus in rural areas. This thesis analyzed the spatial dynamics of animal rabies in the state of Maranhão and the patterns of livestock attacks caused by vampire bats in the Floresta dos Guarás region, integrating ecological, environmental, and sociocultural factors across different spatial scales. Official data on rabies outbreaks in cattle and equines from 2005 to 2024, records from 475 nocturnal capture expeditions of *D. rotundus* (of which 384 were successful, corresponding to an 80.84% success rate), and 170 structured interviews with rural producers were analyzed. The analyses included exploratory spatial statistics, Kernel density estimation, the Bivariate Local Moran's Index (BiLISA), Poisson regression, and Random Forest (RF) predictive modeling, complemented by nonparametric statistical tests. At the state level, rabies showed a heterogeneous spatial distribution, with higher incidence in the northern microregions of Maranhão, positively associated with the loss of surface water ( $p < 0.05$ ), whereas forest fire frequency and deforestation were negatively associated with rabies incidence ( $p < 0.05$ ). In the Guarás region, the RF model for predicting vampire bat attacks showed high predictive performance ( $AUC > 0.80$ ), with livestock density emerging as the most important variable ( $MDA = 39.86$ ;  $MDG = 35.99$ ), followed by distance to water bodies. Livestock attacks were predominantly concentrated in areas with lower slope, higher herd density, and less fragmented forest landscapes. A total of 1,174 vampire bats were captured and treated, with a predominance of females (61.0%); however, these interventions were not associated with a proportional reduction in livestock attacks. Interviews revealed that 67.1% of producers reported a history of livestock attacks, with cattle being the most frequently affected species (64.6%), in addition to a low level of knowledge regarding bat ecology and a greater predisposition to roost destruction among producers with lower educational levels and prior attack experience. Overall, the results indicate that rabies occurrence and vampire bat attacks respond differently to anthropogenic landscape changes, although they share common environmental determinants, highlighting the need for integrated strategies that combine epidemiological surveillance, sanitary education, environmental management, and wildlife conservation. As outcomes of this research, a scientific article addressing the effects of deforestation, wildfires, and drought on animal rabies incidence in Maranhão and a technical manual for the ethical management and control of vampire bats, aligned with the guidelines of the National Program for the Control of Herbivore Rabies, were produced.

**Keywords:** rabies. bats. herbivores. socioenvironmental factors.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO III

Figura 3.1 - localização da área de estudo. Maranhão. Brasil .....	38
Figura 3.2 - (A) Distribuição de taxa de incidência de raiva em bovinos e equinos por microrregião (MR) e (B) casos de raiva no Maranhão (2006–2022) .....	41
Figura 3.3 - (A) Tamanho de rebanho bovino e equino e (B) densidade animal por MR (2024) .....	42
Figura 3.4 – Distribuição da (A) frequência de focos de incêndio e (B) agrupamento pelo índice de bivariada local de Moran (BiLISA) entre TIR e focos de incêndio (2006–2022) .....	43
Figura 3.5 - (A) variação de cobertura vegetal e (B) agrupamento espacial BiLISA entre TIR e desmatamento (2006–2022) .....	45
Figura 3.6 - (A) variação da superfície de água e (B) agrupamento espacial BiLISA entre TIR e perda de superfície hídrica (2006–2022).....	46

### CAPÍTULO IV

Figura 4.1 - Localização da Região da Floresta dos Guarás, Maranhão, Brasil .....	52
Figura 4.2 - Distribuição espacial das propriedades com e sem histórico de espoliações por morcegos hematófagos (MH) na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024). .....	63
Figura 4.3 – Distribuição de espoliações por município na Floresta dos Guarás (2005–2024) .....	65
Figura 4.4 - Distribuição Kernel (KDE) do uso e cobertura da terra associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024) .....	66
Figura 4.5 - Densidade animal associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).....	69
Figura 4.6 - Proporção de área desmatada associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024) .....	70
Figura 4.7 - Proporção de áreas queimadas associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024) .....	71
Figura 4.8 – Topografia associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).....	72
Figura 4.9 - Declividade associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).....	73
Figura 4.10 - Distância a corpos d'água associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024). .....	75

Figura 4.11 - Distância de aglomerados rurais associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).	77
Figura 4.12 - Distância das rodovias associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).	79
Figura 4.13 –Área de bordas de vegetação associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024)	81
Figura 4.14 - Fragmentação da vegetação nativa associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).	82
Figura 4.15 - Curva <i>receiver operating characteristic</i> (ROC) do modelo <i>Random Forest</i> para predição da ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás.	83
Figura 4.16 - Importância relativa das variáveis ambientais no modelo <i>Random Forest</i> para a predição de espoliações por MH.	85
Figura 4.17 - Região da Floresta dos Guarás: (A) divisão municipal e (B) superfície espacial de risco predito de espoliações por MH, estimada por RF	86
Figura 4.18 – Distribuição espacial da frequência de mordeduras (A) e do número de capturas de <i>D. rotundus</i> (B) na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024)	91
Figura 4.19 – Associação espacial local (BiLISA) entre <i>D. rotundus</i> capturados e as espoliações em propriedades rurais da Região da Floresta dos Guarás (2005–2024)	91
Figura 4.20 – Distribuição dos focos de raiva animal por setores na Região da Floresta dos Guarás (2006–2024).	93
Figura 4.21 – Associação espacial local (BiLISA) entre o número de <i>D. rotundus</i> capturados e focos de raiva animal na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).	93

## CAPÍTULO V

Figura 5.1 - Fotografia de <i>D. rotundus</i>	105
Figura 5.2 - Ilustração frontal da cabeça de <i>D. rotundus</i>	105
Figura 5.3 - Ilustração do da asa e dedo do <i>D. rotundus</i>	105
Figura 5.4 - Ilustração da mandíbula e dentes inferiores do <i>D. rotundus</i> .	105
Figura 5.5 - Fotografia de aplicação de pasta anticoagulante em herbívoro.	107
Figura 5.6 - Ilustração de armação da rede de neblina.	109
Figura 5.7 - Ilustração da rede de neblina e haste de sustentação.	109
Figura 5.8 - Fotografia de curral de bovinos e fixação de hastes para armação de rede de neblina.	109
Figura 5.9 - Fotografias de <i>D. rotundus</i> enroscados em rede de neblina.	110
Figura 5.10 - Fotografias de modelos gaiolas para contenção de morcegos.	111

Figura 5.11 - Fotografia de <i>D. rotundus</i> tratado com pasta anticoagulante .....	112
Figura 5.12 - Fotografia de técnico durante manejo de morcegos com uso de EPI e lanterna de cabeça .....	113
Figura 5.13 - Fotografia de abrigos de morcegos em estrada rural .....	114

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO III

- Tabela 3.1 Microrregiões geográficas (MR), rebanho bovino e equino e variáveis utilizadas no modelo de regressão de Poisson ..... 40
- Tabela 3.2 Resultados da regressão de Poisson para a taxa de incidência de raiva (TIR) em relação às variáveis: frequência de incêndios (f.incendio), desmatamento (p.vegetal), superfície de água (p.agua) e cicatrizes de fogo (c.fogo)..... 46

### CAPÍTULO IV

- Tabela 4.1 Variáveis ambientais, antrópicas e estruturais utilizadas na análise espacial, fontes de dados, períodos e descrição ..... 56
- Tabela 4.2 - Métricas de desempenho do modelo Random Forest para a predição da ocorrência de espoliações por *D. rotundus* na Região da Floresta dos Guarás ..... 84
- Tabela 4.3 – Importância das variáveis incluídas no modelo final Random Forest, segundo a redução média da acurácia (MDA), a redução média do índice de Gini (MDG) e suas implicações epidemiológicas..... 86
- Tabela 4.4 - Intervenções de captura, número de *D. rotundus* capturados e taxa de sucesso, discriminados por município na Região da Floresta dos Guarás ..... 89

### CAPÍTULO VI

- Tabela 6.1 - Formulário de perguntas incluídas no formulário de entrevistas, códigos e padrões de resposta..... 121
- Tabela 6.2 - Comparação de variáveis estruturais e socioeconômicas entre propriedades com e sem histórico de espoliações por MH, com testes estatísticos e valores de significância ..... 122
- Tabela 6.3 - Comparação de variáveis relacionadas à vacinação e às atitudes de produtores rurais em relação aos morcegos hematófagos (MH), com respectivos testes estatísticos e valores de significância ..... 123

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Sigla	Significado
AGED-MA	Agência Estadual de Defesa Agropecuária do Maranhão
AUC	Area Under the Curve (Área sob a curva ROC)
BiLISA	Bivariate local indicator of spatial association (indicador local bivariado de associação espacial)
BRT	Boosted regression trees (Árvores de regressão sequencial)
CNS	Conselho Nacional de Saúde
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)
GLW	Gridded Livestock of the World
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KDE	Kernel Density Estimation (Curva de Densidade de Kernel)
MH	Morcego hematófago
MDE	Modelo Digital de Elevação
OMS	Organização Mundial da Saúde
OMSA	Organização Mundial da Saúde Animal (antiga OIE)
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
OR	Odds Ratio (razão de chances)
PNCRH	Programa Nacional de Controle da Raiva dos Herbívoros
RF	Random Forest (Floresta aleatória)
QGIS	Quantum Geographic Information System
ROC	Receiver Operating Characteristic
RNA	Ácido ribonucleico
SIZ	Sistema de Informação Zoossanitária
TSS	True Skill Statistic
WHO	World Health Organization (Organização Mundial da Saúde)
VR	Vírus da raiva

# SUMÁRIO

## CAPÍTULO I

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Relevância e justificativa do estudo</b> .....	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>Hipóteses</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3</b>	<b>Questões da pesquisa</b> .....	<b>21</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivos da Pesquisa</b> .....	<b>21</b>
1.4.1	Objetivo Geral .....	21
1.4.2	Objetivos Específicos .....	22
<b>1.5</b>	<b>Estrutura da tese</b> .....	<b>22</b>

## CAPÍTULO II

<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1</b>	<b>Biologia, comportamento e distribuição dos morcegos hematófagos (MH)</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>Interações ecológicas entre MH e o vírus da raiva</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3</b>	<b>Raiva: etiologia, patogenia e mecanismos de transmissão</b> .....	<b>26</b>
<b>2.4</b>	<b>Estratégias de controle populacional de <i>D. rotundus</i> e efeitos adversos</b> .....	<b>28</b>
<b>2.5</b>	<b>Modelagem matemática e espacial na previsão de risco zoonótico</b> .....	<b>30</b>
<b>2.6</b>	<b>Aplicações da modelagem espacial na vigilância da raiva animal</b> .....	<b>33</b>

## CAPÍTULO III

<b>3</b>	<b>ASSOCIAÇÃO ESPACIAL ENTRE QUEIMADAS, ESTIAGEM E INCIDÊNCIA DE RAIVA EM HERBÍVOROS NO ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL</b> .....	<b>35</b>
----------	--	-----------

## CAPÍTULO IV

<b>4</b>	<b>ANÁLISE DAS ESPOLIAÇÕES POR MORCEGOS HEMATÓFAGOS NA REGIÃO DA FLORESTA DOS GUARÁS</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>Métodos</b> .....	<b>51</b>
4.1.1	Desenho do estudo .....	51
4.1.2	Descrição da área .....	52
4.1.3	Critérios de inclusão e exclusão das unidades amostrais.....	54
4.1.4	Unidades amostrais e tamanho da amostra.....	55
4.1.5	Procedimentos de captura e tratamento de <i>D. rotundus</i> .....	56
4.1.6	Variáveis ambientais e antrópicas.....	56
4.1.7	Classificação temporal das propriedades monitoradas.....	57
4.1.8	Tratamento dos dados, visualização e análise estatística dos resultados .....	58
4.1.9	Análise espacial de espoliações por MH pelo índice de bivariada local de Moran (BiLISA) .....	59
4.1.10	Modelagem por Random Forest (RF) .....	60
4.1.11	Testes de associação para variáveis estruturais e socioeconômicas .....	61
4.1.12	Softwares e pacotes utilizados no estudo .....	62
4.1.13	Aspectos éticos e legais.....	62

<b>4.2</b>	<b>Resultados e discussão.....</b>	<b>63</b>
4.2.1	Padrões espaciais de espoliações e controle populacional de <i>D. rotundus</i> .....	63
4.2.2	Associação entre uso e cobertura da terra e ocorrência de espoliações.....	66
4.2.3	Associação entre densidade animal na ocorrência de espoliações .....	69
4.2.4	Associação entre desmatamento, queimadas e ocorrência de espoliações.....	70
4.2.5	Associação entre topografia na ocorrência de espoliações .....	72
4.2.6	Associação entre proximidade de corpos hídricos e ocorrência de espoliações .....	75
4.2.7	Associação entre proximidade de aglomerados rurais e espoliações.....	77
4.2.8	Associação entre rede rodoviária na ocorrência de espoliações .....	79
4.2.9	Associação entre degradação ambiental e ocorrência de espoliações .....	81
4.2.10	Modelagem preditiva das espoliações .....	83
4.2.11	Efetividade e sustentabilidade das ações de controle populacional de <i>D. rotundus</i> .....	88
4.2.12	Relação entre morcegos capturados e densidade de espoliações .....	90
4.2.13	Efeito das intervenções sobre focos de raiva animal e espoliações .....	92
4.2.14	Desempenho do modelo preditivo de espoliações.....	98
4.2.15	Vantagens e limitações do modelo <i>RF</i> .....	100
<b>CAPÍTULO V</b>		
<b>5.</b>	<b>MANUAL PRÁTICO DE CAPTURA DE <i>Desmodus rotundus</i> EM CURRAIS.....</b>	<b>102</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>		
<b>6</b>	<b>PERCEPÇÕES DOS PRODUTORES SOBRE MORCEGOS HEMATÓFAGOS (MH) .....</b>	<b>121</b>
6.1	Métodos, resultados e discussão .....	121
<b>CAPÍTULO VII</b>		
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>128</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>130</b>
	<b>APÊNDICE I Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).....</b>	<b>144</b>
	<b>APÊNDICE II Formulário epidemiológico .....</b>	<b>146</b>
	<b>APÊNDICE III - Códigos de cálculos em R .....</b>	<b>147</b>

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUÇÃO GERAL

A raiva é uma zoonose viral de elevada letalidade, com impacto significativo sobre a saúde pública, a produção pecuária e a conservação da fauna silvestre. Trata-se de uma enfermidade aguda e progressiva do sistema nervoso central, capaz de infectar todos os mamíferos, com evolução quase sempre fatal, após o início dos sinais clínicos (Organização Pan-Americana da Saúde -OPAS e Organização Mundial da Saúde - OMS, 2022).

Apesar de ser prevenível por meio da vacinação, a raiva permanece como uma das doenças tropicais negligenciadas, especialmente em regiões com limitações estruturais na vigilância sanitária, subnotificação de casos e insuficiência de investimentos em estratégias sustentáveis de controle (OMS, 2025).

Na América Latina, a raiva dos herbívoros domésticos está fortemente associada à transmissão pelo morcego hematófago *Desmodus rotundus*, reconhecido como o principal reservatório e vetor do vírus rábico em áreas rurais (Velasco-Villa et al., 2006; Kobayashi et al., 2008; Brasil, 2022). A elevada capacidade adaptativa dessa espécie às transformações ambientais, aliada ao comportamento alimentar hematófago e às interações sociais intraespecíficas, confere condições favoráveis à manutenção e disseminação do vírus em paisagens antropizadas. Por isso, a principal estratégia de controle da raiva em herbívoros tem sido a redução da população do *D. rotundus*, vacinação, vigilância e educação sanitária (Brasil, 2022).

Entretanto, eventos recentes de emergência sanitária global, como a pandemia de COVID-19 e surtos de influenza aviária (H5N1), ampliaram a consciência sobre os riscos associados à transmissão inicial de vírus zoonóticos a partir de reservatórios silvestres (Griffiths *et al.*, 2025). Esses episódios reforçaram a necessidade de abordagens preventivas que integrem saúde humana, animal e ambiental, conforme os princípios da Saúde Única.

Nesse contexto, os órgãos de defesa sanitária animal enfrentam o desafio de equilibrar ações de controle de zoonoses com a conservação da fauna silvestre, reconhecendo que cada espécie desempenha funções ecológicas essenciais para a estabilidade dos ecossistemas (Organização Mundial de Saúde animal -OMSA, 2025).

A evolução do manejo e da vigilância de doenças em animais silvestres reflete uma ampla compreensão das conexões entre a saúde da fauna, a integridade dos ecossistemas e o bem-estar humano. Atualmente, o foco inclui os impactos das mudanças climáticas, da perda de habitat e do aumento das interações entre humanos e animais silvestres (Karesh, 2024). Por isso, é essencial considerar não apenas as consequências das doenças, mas também os fatores humanos que as influenciam.

Apesar dos avanços científicos, o entendimento sobre a dinâmica da raiva em populações de morcegos permanece limitado. Evidências indicam que o vírus pode persistir em colônias por meio de infecções subclínicas, imunidade temporária e intensas interações sociais, como o compartilhamento de abrigo interespecífico (Streicker *et al.*, 2012; Amman *et al.*, 2014). Por isso, o controle da raiva baseado exclusivamente na redução populacional, pode favorecer a dispersão de morcegos e a disseminação viral (Streicker *et al.*, 2012).

Nesse sentido, compreender os processos ecológicos e epidemiológicos que sustentam a circulação do vírus rábico em populações silvestres é fundamental para a previsão de riscos e o planejamento de intervenções mais eficazes (Plowright *et al.*, 2017). A identificação da distribuição espacial de *D. rotundus* e de áreas ambientalmente favoráveis à sua permanência constitui ferramenta estratégica para antecipar zonas de maior risco e otimizar o direcionamento das ações de vigilância e prevenção (Meza *et al.*, 2022).

A modelagem matemática e espacial tem se consolidado como um instrumento essencial para integrar variáveis ambientais, antrópicas e epidemiológicas, permitindo avaliar cenários, testar hipóteses e apoiar a tomada de decisão em saúde animal. Nesse contexto, os mapas de risco constituem ferramentas estratégicas para identificar áreas prioritárias que mais se beneficiariam da imunização contra a raiva (Lee; Papeş; Bussche, 2012; Streicker *et al.*, 2012).

Nesse sentido, compreender a epidemiologia da raiva permite o desenvolvimento de intervenções específicas em sistemas de produção pecuária, promove o bem-estar animal e apoia a agricultura sustentável, reduzindo o impacto econômico da raiva nos rebanhos (Kappes *et al.*, 2023). Um número crescente de abordagens computacionais tenta prever os fatores que contribuem para o risco à saúde pública a partir de fontes de dados cada vez mais disponíveis (Mollentze; Streicker, 2023).

Além dos fatores ecológicos, aspectos socioculturais exercem papel relevante na dinâmica da raiva dos herbívoros. O nível de conhecimento dos produtores rurais, suas percepções sobre os morcegos hematófagos (MH) e as práticas de manejo adotadas nas propriedades influenciam diretamente a eficácia das medidas de prevenção e controle. Atitudes baseadas em informações incompletas ou percepções negativas podem resultar em ações inadequadas, como a destruição de abrigos e indivíduos de espécies não alvo com consequências ambientais e epidemiológicas adversas (Arellano-Sota, 1988; OMSA, 2025).

Dessa forma, parte-se do pressuposto de que a prevenção de doenças transmitidas pela fauna silvestre depende de uma abordagem capaz de articular fatores ambientais, ecológicos e socioculturais. Assim, esta tese busca compreender a interação entre homem, animal e ambiente no ciclo de transmissão da raiva, por meio da análise espacial da doença no estado do Maranhão, da avaliação das espoliações causadas por *D. rotundus* na Região da Floresta dos Guarás, da análise de intervenções de controle populacional e da investigação das percepções dos produtores rurais, utilizando observações de campo, entrevistas estruturadas e modelagem estatística.

## **1.1 Relevância e justificativa do estudo**

Na América Latina, o vírus da raiva (VR) causa infecções letais em humanos e animais e gera prejuízos anuais de dezenas de milhões de dólares à pecuária. Esses prejuízos incluem custos com mão de obra veterinária, vacinação e perdas econômicas pela morte de herbívoros (Benavides *et al.*, 2017). Além dos danos diretos causados pela raiva, os ataques de *D. rotundus* causam danos incalculáveis por meio de infecções secundárias e infestações parasitárias no local do ataque e danos relacionados ao estresse ao qual esses animais são submetidos (OPAS e OMS, 2022; Arellano-Sota, 1988).

Ademais, nas regiões amazônicas, os surtos de raiva humana transmitida por MH são cada vez mais reconhecidos e agora superam o número anual de casos causados por cães (Schneider *et al.*, 2009). Nas zonas agrícolas, o gado se tornou a principal fonte alimentar dos MH, o que provavelmente contribuiu para o crescimento das populações desses animais (Voigt e Kelm, 2006).

Nesse sentido, é importante reconhecer que as espécies selvagens desempenham papéis ecológicos insubstituíveis nos ecossistemas em que vivem. A biodiversidade sustenta serviços ecossistêmicos vitais, como regulação climática, purificação da água, controle de pragas, polinização e ciclagem de nutrientes. Assim, a perda de espécies e a degradação dos habitats naturais comprometem a resiliência dos ecossistemas, afetando diretamente o equilíbrio ecológico (OMSA, 2025; Reid; Mooney, 2005).

Estudos sobre a ocorrência e comportamento de *D. rotundus* são, portanto, indispensáveis para desenvolver estratégias preventivas eficazes contra a raiva transmitida por morcegos (Bárcenas-Reyes *et al.*, 2015; Benavides *et al.*, 2016). Estudos observacionais e modelos epidemiológicos sugerem que a eutanásia de morcegos pode aumentar a disseminação do vírus da raiva (VR) ao dispersar colônias e aumentar o contato entre indivíduos (Streicker *et al.*, 2012). Nessa perspectiva, a real contribuição dos programas de controle populacional de MH para redução da incidência de raiva nos rebanhos tem sido questionada.

Desse modo, a necessidade de compreender como variáveis ambientais — como uso do solo, degradação ambiental e transformações antrópicas — interagem com fatores socioculturais e práticas de manejo, influenciando os mecanismos que sustentam a transmissão da raiva, justifica a realização desta pesquisa.

A relevância da pesquisa reside na geração de subsídios para estratégias de controle mais eficazes, integrando vigilância sanitária, conservação ambiental através do aperfeiçoamento dos métodos de controle de populações de MH. Ao investigar a influência de fatores ecológicos, antrópicos e comportamentais na dinâmica populacional de *D. rotundus*, o estudo contribui para o desenvolvimento de ações de manejo mais eficazes, sustentáveis e compatíveis com a preservação da biodiversidade. Além disso, o conhecimento gerado amplia a base científica necessária para a formulação de políticas públicas e programas de vigilância que conciliem a saúde animal, a saúde humana e o equilíbrio ecológico.

## 1.2 Hipóteses

- **Hipótese 1 ecológica-comportamental sobre manejo populacional**

A captura e eutanásia de *D. rotundus* alteram seus padrões de deslocamento, favorecendo a migração para áreas vizinhas e aumentando o risco de disseminação do VR em regiões anteriormente livres da doença.

- **Hipótese 2 preditiva-epidemiológica**

Fatores ambientais e antrópicos podem ser usados como preditores para a ocorrência de *D. rotundus*.

- **Hipótese 3 sociocultural sobre percepção e comportamento humano**

A percepção negativa dos produtores rurais sobre MH está relacionada ao baixo nível de conhecimento sobre a biologia, ecologia e os serviços ecossistêmicos prestados por esses animais.

### **1.3 Questões da pesquisa**

Os MH estão mais presentes em áreas com registros de focos de raiva? As regiões com maior incidência de raiva compartilham características ambientais e antrópicas que favorecem a permanência desses morcegos? Existem fatores ambientais ou humanos que funcionam como barreiras naturais contra a presença de MH e, portanto, reduzem o risco de raiva?

### **1.4 Objetivos da Pesquisa**

#### **1.4.1 Objetivo Geral**

Analisar os fatores ambientais e socioculturais associados à ocorrência da raiva dos herbívoros no Maranhão, com ênfase na Região da Floresta dos Guarás, e avaliar a dinâmica populacional de *D. rotundus* para subsidiar estratégias integradas de vigilância e controle, incluindo o desenvolvimento de um manual técnico de captura e manejo.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar a distribuição espacial e temporal dos focos de raiva em herbívoros no estado do Maranhão, identificando áreas de maior risco epidemiológico.
- Analisar, na Região da Floresta dos Guarás, a influência de fatores ambientais (uso e cobertura da terra, fragmentação da vegetação, topografia, hidrografia) e socioculturais (percepções, atitudes e práticas de produtores rurais) sobre a ocorrência da raiva e as espoliações por *D. rotundus*.
- Investigar a percepção, o nível de conhecimento e as atitudes dos criadores da Região da Floresta dos Guarás em relação à raiva animal, aos morcegos hematófagos (MH) e às medidas de prevenção e controle.
- Elaborar um manual técnico de captura, manejo e controle ético de *D. rotundus*, alinhado às diretrizes do Programa Nacional de Controle da Raiva dos Herbívoros (PNCRH/MAPA), como produto aplicável às ações de defesa sanitária animal.

#### 1.5 Estrutura da tese

Esta tese integra diferentes aspectos da raiva animal no Maranhão e da ecologia de MH na Região da Floresta dos Guarás. A estrutura está dividida em capítulos que seguem uma sequência lógica, desde a contextualização teórica até a análise dos resultados empíricos e suas implicações.

O capítulo um contém uma introdução geral sobre o contexto epidemiológico da raiva, destacando a importância de *D. rotundus* como principal vetor em áreas rurais, além de discutir os desafios da vigilância e do controle da doença.

O capítulo dois traz uma fundamentação teórica, conceitual e científica necessária para a compreensão do tema, abordando a biologia e comportamento de MH, os fatores ambientais e antrópicos que influenciam sua distribuição, os mecanismos de transmissão do vírus rábico, bem como as principais metodologias de análise espacial e modelagem utilizadas em estudos semelhantes.

O capítulo três apresenta o diagnóstico no Maranhão (artigo) avaliação espacial da associação entre as variáveis queimadas e estiagem e a incidência de raiva em herbívoros no estado do Maranhão, Brasil.

O capítulo quatro descreve a aplicação de um modelo preditivo espacial para a ocorrência de espoliações por *D. rotundus* na Região da Floresta dos Guarás. O estudo integra variáveis ambientais, antrópicas e estruturais por meio do algoritmo Random Forest (RF), além de análises exploratórias espaciais com o Índice Bivariado Local de Moran (BiLISA). O capítulo identifica áreas prioritárias para vigilância e controle, contribuindo para o aprimoramento das estratégias do Programa Nacional de Controle da Raiva dos Herbívoros (PNCRH).

O capítulo cinco apresenta o produto técnico derivado da pesquisa: um manual ilustrado que padroniza os procedimentos de captura, manejo e controle de MH, conforme as diretrizes do MAPA. O material propõe orientações voltadas à segurança dos operadores, à eficácia das ações e à minimização dos impactos ecológicos, consolidando a integração entre ciência aplicada e vigilância sanitária.

O capítulo seis analisa as percepções dos produtores rurais sobre MH aborda o componente socioeducativo da pesquisa, analisando o conhecimento, as atitudes e as práticas dos criadores rurais em relação à raiva animal, aos morcegos e às medidas de prevenção. Essa abordagem qualitativa complementa os achados espaciais e ecológicos, reforçando a importância da educação sanitária e da participação comunitária no controle da doença.

Por fim, o capítulo sete apresenta as considerações finais e sintetiza os principais resultados e implicações do estudo, destacando as contribuições para o aprimoramento das políticas públicas, o manejo ético de MH e a consolidação de estratégias integradas de vigilância epidemiológica da raiva.

## CAPÍTULO II

### 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 Biologia, comportamento e distribuição dos morcegos hematófagos (MH)

Os morcegos (Ordem *Chiroptera*) estão entre os grupos mais diversos de mamíferos, com mais de 1.400 espécies conhecidas em todo o mundo (Kunz *et al.*, 2011). No Brasil, há 186 espécies registradas, distribuídas em 68 gêneros e nove famílias, com 13 espécies endêmicas (Garbino *et al.*, 2024). Três gêneros com uma espécie cada de MH *D. rotundus* (Geoffroy, 1810), *Diphylla ecaudata* (Spix., 1823) e *Diaemus youngii* (Jentink, 1893). As duas últimas têm importância epidemiológica limitada na transmissão da raiva a herbívoros (OPAS e OMS, 2022).

O *D. rotundus*, da família Phyllostomidae, é a mais relevante para a saúde pública. É amplamente distribuído, do México ao norte da Argentina, e ocupa desde florestas tropicais até áreas semiáridas (Neuweiler, 2000; Hayes e Piaggio, 2018). Alimenta-se exclusivamente de sangue, o que o torna um vetor eficiente do vírus da raiva (VR) (Anderson *et al.*, 2014). Sua população tende a crescer em áreas com alta disponibilidade de alimento (densidade animal) e poucos predadores naturais (Gonçalves *et al.*, 2020). Estudos mostram que *D. rotundus* se alimenta de ao menos 63 espécies de vertebrados, o que reflete sua alta adaptabilidade (Brown e Escobar, 2023).

Os indivíduos desta espécie vivem em colônias com forte interação entre indivíduos. Compartilham alimentos por regurgitação e realizam cuidados mútuos por lambedura e acicalamento (limpeza mútua da pelagem), práticas mantêm a coesão do grupo e podem facilitar a transmissão do VR (Freitas *et al.*, 2013; Wilkinson *et al.*, 2016).

O comportamento alimentar, baseado em espoliação e ingestão de sangue, é ideal para a transmissão do vírus por meio da saliva (Rocha *et al.*, 2020). A natureza de uma dieta exclusivamente sanguívora implica uma transmissão fácil e robusta de patógenos transmitidos pela saliva e pelo sangue entre as presas e *D. rotundus* (Delpietro e Russo, 1996; Rocha *et al.*, 2020).

A redução de áreas florestais e a expansão da indústria pecuária aumentam a disponibilidade de presas para *D. rotundus*, alterando o ciclo de transmissão silvestre do VR (Streicker e Allgeier, 2016). A expansão de *D. rotundus* para novas regiões pode desencadear repercussões ecológicas em cascata (Gonçalves *et al.*, 2020; García-Morales *et al.*, 2013).

## **2.2 Interações ecológicas entre MH e o vírus da raiva**

Os morcegos desempenham funções ecológicas essenciais, incluindo a polinização, a dispersão de sementes e o controle de populações de insetos, sendo fundamentais para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas tropicais (Mialhe e Moschini, 2016). Estima-se que colônias de morcegos insetívoros sejam capazes de consumir toneladas de insetos por ano, gerando benefícios econômicos significativos à agricultura e reduzindo o uso de pesticidas (Boyles *et al.*, 2011).

Entretanto os morcegos enfrentam ameaças como perda de habitat, mudanças climáticas, doenças emergentes e a expansão da energia eólica (O'Shea *et al.*, 2016; Frick *et al.*, 2020). Nesse sentido, aquecimento climático, severidade das secas (Allen *et al.*, 2010) e incêndios florestais podem afetar a qualidade do seu habitat (Stephens *et al.*, 2022) e resultar em grandes eventos de mortalidade de morcegos (O'Shea *et al.*, 2016). Essas alterações ambientais também elevam o estresse nas populações de morcegos e ampliam o risco de transmissão da raiva entre morcegos, animais domésticos e humanos (Stoner-Duncan *et al.*, 2014).

Apesar de fornecerem serviços ecossistêmicos de elevado valor econômico, os morcegos constituem os principais reservatórios e transmissores do vírus da VR independentemente de seus hábitos alimentares (Scheffer *et al.*, 2007). Quando infectados, esses animais podem abrigar o vírus na saliva por períodos prolongados e permanecer infecciosos antes da manifestação de sinais clínicos, o que favorece sua disseminação (Fahl *et al.*, 2015).

O VR apresenta variantes específicas associadas a diferentes espécies de animais, embora possua também capacidade de atravessar barreiras interespecíficas de hospedeiro (Escobar et al., 2013). Estudos moleculares têm documentado transferências de vírus de morcegos para carnívoros, como raposas e gambás, especialmente nas Américas, resultando em novas linhagens virais adaptadas a mamíferos terrestres (Condori et al., 2022; Ding et al., 2017). Alguns animais domésticos, principalmente gatos, ocasionalmente consomem morcegos. Isso constitui outro possível modo de transmissão da raiva para humanos, facilitando assim a conexão entre os ciclos de transmissão urbana e rural (Morikawa et al., 2012).

A glicoproteína G do vírus desempenha papel central nesse processo, por ser responsável pelo reconhecimento e ligação a receptores celulares. Alterações estruturais nessa proteína têm sido apontadas como determinantes para a adaptação viral a novos hospedeiros (Khalifa; Unterholzner; Munir, 2021)

A sobreposição ecológica entre morcegos, animais domésticos e populações humanas aumenta o risco de transbordamento viral. Essa dinâmica tem sido observada tanto no Brasil quanto em países africanos, onde cepas caninas e silvestres compartilham alta similaridade genética, indicando interação entre os ciclos doméstico e silvestre da raiva (Caraballo et al., 2021; Singano et al., 2025).

### **2.3 Raiva: etiologia, patogenia e mecanismos de transmissão**

A raiva é uma zoonose viral aguda e fatal causada por um vírus de RNA de fita simples, de polaridade negativa, pertencente à família Rhabdoviridae, gênero Lyssavirus (do grego lyssa, “loucura”), e à ordem Mononegavirales. O vírion apresenta um envelope lipídico no qual se insere a glicoproteína G, responsável pela adsorção e fusão viral com a membrana da célula hospedeira. Subjacente ao envelope encontra-se a proteína da matriz (M), que desempenha papel estrutural e funcional na montagem e liberação do vírus (ICTV, 2025; Wunner, 2007).

O núcleo viral é constituído por uma ribonucleoproteína (RNP), composta pela proteína do nucleocapsídeo (N) associada ao RNA genômico, e às proteínas fosfoproteica (P) e RNA polimerase dependente de RNA (L), que formam o complexo enzimático necessário para os processos de replicação e transcrição viral. O gênero *Lyssavirus* compreende atualmente 17 espécies reconhecidas, classificadas de acordo com critérios de distância genética, perfil antigênico (avaliado por anticorpos monoclonais dirigidos contra proteínas estruturais), distribuição geográfica e amplitude de hospedeiros (ICTV, 2025; Wunner, 2007).

Presente na saliva de animais infectados, o vírus penetra no organismo por meio de mordidas ou contato com pele lesionada, interage com receptores de acetilcolina e se dissemina pelo sistema nervoso até atingir órgãos diversos. O período de incubação varia conforme o tipo de exposição, a localização da lesão e a carga viral (Brasil, 2016). Em mamíferos, a infecção não tratada causa encefalite aguda e quase sempre é fatal (Turmelle et al., 2010).

A transmissão pode ocorrer em quatro ciclos distintos: O ciclo urbano envolve cães e gatos, sendo passível de eliminação por meio da vacinação sistemática. O ciclo rural ocorre em herbívoros, principalmente bovinos e equinos, tendo o *D. rotundus* como principal transmissor (Brasil, 2022). Além disso, mordidas de *D. rotundus* podem aumentar a suscetibilidade das presas a infecções secundárias, mesmo sem transmissão direta do vírus (Johnson; Aréchiga-Ceballos e Aguilar-Setien, 2014).

A alta densidade de gado em áreas de criação intensiva favorece o crescimento populacional de *D. rotundus* e, por consequência, o aumento da circulação viral (Becker et al., 2020). Como a raiva não se transmite entre bovinos, o morcego funciona como sentinela natural para monitorar a dinâmica do vírus em seu reservatório silvestre (Streicker e Allgeier, 2016).

A transmissão entre morcegos ocorre principalmente por interações sociais, como o compartilhamento de poleiros, lambeduras e regurgitação de sangue — comportamentos que facilitam o contato com saliva infectada (Kobayashi et al., 2008; Velasco-Villa et al., 2006). Estudos mostram que morcegos expostos ao vírus podem sobreviver e desenvolver imunidade temporária, tornando-se portadores assintomáticos. Isso contribui para a persistência do vírus mesmo na ausência de surtos evidentes (Blackwood et al., 2013; Meza et al., 2022).

Pesquisas sobre a circulação da raiva podem ajudar a orientar a vigilância epidemiológica a fim de proteger populações selvagens afetadas por doenças e podem mitigar a eliminação de morcegos para o controle da raiva (Barnett; Civitello, 2020).

#### **2.4 Estratégias de controle populacional de *D. rotundus* e efeitos adversos**

O controle desses morcegos começou nos anos 1970, com o desenvolvimento de uma pasta anticoagulante aplicada no dorso de indivíduos capturados. Após retornarem aos abrigos, a substância se espalha por meio do acicalamento (*grooming*) entre membros da colônia, causando hemorragias internas e morte (Linhart *et al.*, 1972). Além da aplicação direta em morcegos, a pasta também pode ser usada em feridas de mordidas no gado, atingindo morcegos que retornam à mesma lesão para se alimentar (Brass, 1994).

A premissa básica por trás da eliminação é reduzir o tamanho populacional dos MH, presumindo-se que isso diminuirá a transmissão do VR (Lloyd-Smith *et al.*, 2005). O produto anticoagulante utilizado pode afetar até 15 morcegos por indivíduo tratado, mas a eficácia do tratamento depende do sexo e idade dos morcegos tratados. Fêmeas têm maior capacidade de disseminar a pasta anticoagulante dentro das colônias, devido ao seu comportamento mais gregário (filopatria) (Gomes *et al.*, 2006).

O compartilhamento de alimento por regurgitação ocorre, em 75% dos casos, entre fêmeas e suas crias, enquanto adultos raramente são lambidos por jovens. Como o compartilhamento de alimento por regurgitação ocorre majoritariamente entre fêmeas e suas crias, a pasta anticoagulante afeta principalmente morcegos adultos, com impacto reduzido sobre indivíduos juvenis, cuja dependência materna limita o contato com animais de criação (Wilkinson, 1988).

Na literatura há referências sobre outras formas de controle menos seletivas, como destruição de poleiros e a eutanásia indiscriminada. Estas práticas geram impactos ecológicos negativos e questionamentos éticos (Arellano-Sota, 1988; Thompson; Mitchell; Burns, 1972). Além disso, a eutanásia de espécies de morcegos não alvo pode, na verdade, aumentar a transmissão da raiva, com o dano colateral da diminuição dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos morcegos (Viana *et al.*, 2023)

Apesar de mais de 50 anos de campanhas com vacinação e uso de anticoagulantes, surtos continuam ocorrendo, tanto em animais quanto em humanos, indicando que os métodos usados são insuficientes para erradicar a raiva (Mayen 2003; Benavides *et al.*, 2020). A persistência da raiva pode ser favorecida pela imigração de morcegos de colônias vizinhas, pela remoção seletiva de adultos previamente imunes ou ainda pelo aumento no recrutamento de jovens suscetíveis após redução da competição por espaço e recursos (Streicker *et al.*, 2012).

Nesse contexto, duas hipóteses principais são propostas para explicar a manutenção da raiva em populações de morcegos: (i) Se o vírus for mantido localmente, a redução da população de morcegos abaixo de um certo limiar — por controle ou vacinação — pode interromper a transmissão; (ii) se a incidência e a propagação do vírus decorrem de processos que operam em escalas mais ampla de paisagem, como conectividade entre abrigos, mobilidade dos morcegos, disponibilidade de hospedeiros e heterogeneidade ambiental, as intervenções pontuais e isoladas são ineficazes (Benavides *et al.*, 2020; Blackwood *et al.*, 2013).

Desse modo, a eficácia dos programas controle baseados na eutanásia com produto anticoagulante foi questionada por estudos de campo que mostram que as taxas de exposição ao VR em morcegos eram equivalentes ou maiores em colônias abatidas que em colônias não intervencionadas, sugerindo que o controle populacional não reduz necessariamente a circulação viral (Streicker *et al.*, 2012).

Estudos indicam que a eliminação de animais silvestres pode, paradoxalmente, aumentar a prevalência da doença ao estimular o recrutamento de indivíduos suscetíveis ou a dispersão dos sobreviventes (Choisy e Rohani, 2006; Woodroffe *et al.*, 2006). Esses efeitos colaterais também foram observados em outros sistemas. No Reino Unido, a eutanásia reativa de texugos aumentou a prevalência de tuberculose bovina. Na Europa, o controle da raiva em raposas exigiu níveis de eutanásia praticamente inatingíveis, o que limitou a eficácia da estratégia (Woodroffe *et al.*, 2006).

Mesmo que fosse ecologicamente aceitável, alcançar uma redução populacional significativa de morcegos seria logisticamente inviável em regiões montanhosas ou de floresta, como Andes e na Amazônia, onde muitos locais de abrigo são desconhecidos ou inacessíveis (Streicker *et al.*, 2012). Além disso, a OMSA (2025) alerta para a necessidade de equilibrar a conservação dos morcegos com a vigilância sanitária. Embora reconheça seu potencial como hospedeiros de vírus zoonóticos, enfatiza que a destruição de habitats representa ameaça muito maior à saúde pública do que os próprios morcegos. Recomenda-se que estratégias de manejo para prevenção de zoonoses sejam equilibradas com conservação da biodiversidade.

## **2.5 Modelagem matemática e espacial na previsão de risco zoonótico**

A modelagem espacial e a previsão de risco zoonótico utilizam dados geográficos, ecológicos, sociais e climáticos para identificar áreas e fatores que favorecem a emergência e disseminação de doenças transmitidas entre animais e humanos. As abordagens mais recentes combinam estatística espacial, aprendizado de máquina e modelagem ecológica para prever riscos e orientar intervenções preventivas.

Modelos que integram variáveis ecológicas mostraram alta precisão na previsão de áreas de risco para doenças, como a febre da Floresta Kyasanur na Índia, permitindo o direcionamento eficiente de intervenções em saúde pública (Purse *et al.*, 2020). Modelos híbridos baseados em redes neurais do tipo memória de longo prazo (*Long Short-Term Memory* - LSTM) aprimoraram a previsão temporal de surtos de esquistossomose, equinococose e leptospirose, capturando padrões sazonais e tendências de longo prazo de forma mais eficaz que abordagens tradicionais (Chen *et al.*, 2024).

Análises espaciais multi-escala evidenciaram forte associação entre desmatamento, fragmentação florestal e aumento de casos de malária zoonótica (*Plasmodium knowlesi*) em regiões tropicais, destacando o impacto das mudanças no uso da terra sobre o risco (Brock *et al.*, 2019). Modelos de regressão espacial global identificaram pontos (*hotspots*) de risco para doenças zoonóticas emergentes em áreas tropicais com alta biodiversidade de mamíferos e intensas transformações antrópicas (Allen *et al.*, 2017).

A integração de dados de vigilância humana e animal em modelos bayesianos espaciais permitiu identificar regiões de maior risco para equinococose na Argentina, reforçando a importância da abordagem Saúde Única para vigilância integrada (Lawson et al., 2020). Abordagens não-lineares, como *gradient boosting* (técnica avançada de aprendizado de máquina) e redes neurais, também se mostraram superiores a métodos regressivos tradicionais na modelagem espacial de doenças como febre maculosa e doença de Lyme (Jones; Conner; Song, 2012). Revisões recentes destacam ainda o potencial da inteligência artificial (IA) em prever surtos, diagnosticar precocemente e otimizar estratégias de mitigação de zoonoses, integrando grandes volumes de dados ambientais, genéticos e epidemiológicos (Guo et al., 2023).

No contexto da raiva em morcegos, avanços significativos foram alcançados por meio da modelagem espacial aplicada a diferentes escalas e regiões. Um modelo dinâmico espacial desenvolvido para o estado de São Paulo quantificou o risco de disseminação da raiva transmitida por *D. rotundus* para rebanhos bovinos, produzindo mapas de risco e avaliando estratégias de controle como vacinação e manejo de colônias (Janoušková et al., 2023). Um modelo espacial de eventos pontuais (*Log Gaussian Cox Process*), como utilizado nesta pesquisa, mapeou a distribuição de abrigos conhecidos e estimou colônias não detectadas no Peru, identificando *hotspots* de risco de reemergência viral (Ribeiro et al., 2023).

Estudos longitudinais também têm contribuído para entender a dinâmica de persistência viral. Uma pesquisa de 11 anos com mais de 3.700 morcegos e surtos em gado revelou ciclos espaciais compartimentalizados da raiva, sustentados pela conectividade entre colônias próximas (Meza et al., 2022a). No Chile, índices de vegetação e luz noturna (NDVI) derivados de satélite previram adequadamente áreas de ocorrência da variante AgV4 da raiva em *Tadarida brasiliensis*, relacionando urbanização e risco zoonótico (Escobar et al., 2015).

Modelos de máxima entropia (MaxEnt) aplicados ao México sugerem que o *D. rotundus* expandirá seu alcance para o norte e centro do país até 2070, ampliando o risco de raiva bovina (Zarza et al., 2017). Um modelo multicritério (Analytic Hierarchy Process) avaliou o risco de raiva em morcegos nas ilhas do Caribe, identificando Trinidad, Cuba e República Dominicana como áreas críticas e sugerindo lacunas de vigilância em regiões autodeclaradas livres de raiva (Morgan et al., 2020). De forma semelhante, um modelo metapopulacional espacial na Europa demonstrou que a persistência do Lyssavirus de Morcego Europeu 1 (EBLV-1) depende da migração entre espécies e da imunidade temporária, evidenciando o papel da estrutura populacional na manutenção viral (Colombi et al., 2019).

O Random Forest (RF) tem sido apontado como uma ferramenta poderosa para a modelagem espacial e previsão de risco zoonótico, por sua capacidade de lidar com grandes volumes de dados, variáveis correlacionadas e padrões não-lineares. Um modelo RF foi utilizado para prever a distribuição do roedor *Ochotona spp.*, hospedeiro intermediário do parasita *Echinococcus multilocularis*, no oeste da China. O modelo utilizou imagens de satélite Landsat e métricas de paisagem, obtendo 90,98% de acurácia e explicando 71% da variância espacial na presença do hospedeiro. Esse estudo demonstrou o potencial do RF para mapear áreas de risco de infecção humana, ao identificar zonas ambientais favoráveis ao ciclo parasitário (Marston et al., 2014).

Uso de RF em aprendizado supervisionado para fatores de risco zoonótico em Camboja identificou os fatores mais importantes associados à exposição a zoonoses com base em dados de sorologia e questionários populacionais. Reforça o uso do RF para interpretação de risco multivariado em contextos de dados mistos (sociais e biológicos)(Gonzalez, 2023).

Estudos comparativos com árvores de regressão (*boosted regression trees - BRT*), demonstraram desempenho superior em modelar doenças zoonóticas transmitidas por vetores, como febre maculosa e doença de Lyme (Jones; Conner; Song, 2012). Modelos de *BRT* (da mesma família do RF) foram aplicados em escala global para mapear *hotspots* de doenças zoonóticas emergentes, integrando variáveis ambientais, demográficas e biológicas. O estudo mostrou risco elevado em regiões tropicais florestadas com alta biodiversidade de mamíferos e intensa conversão de uso da terra (Allen et al., 2017)

Modelos RF vêm sendo usados para prever a transmissão de doenças zoonóticas de ecossistemas florestais para áreas urbanas, integrando variáveis ecológicas e antrópicas. Essa abordagem tem sido essencial para identificar zonas de transição de alto risco e subsidiar ações preventivas em contextos de urbanização acelerada (Transmission Dynamics of Zoonotic Diseases from Forest to Cities, 2023).

## 2.6 Aplicações da modelagem espacial na vigilância da raiva animal

Esses avanços demonstram como a integração entre modelagem espacial, ecologia e dados climáticos fortalece a previsão e o controle de doenças zoonóticas e a prevenção de emergências sanitárias. Compreender a dinâmica espaço-temporal da transmissão da raiva exige identificar os fatores que permitem a persistência do vírus em populações de morcegos. Isso inclui a identificação dos fatores naturais e antropogênicos que influenciam a prevalência da infecção em morcegos, bem como dos subconjuntos populacionais e comunitários que sustentam a manutenção viral em longo prazo (Wacharapluesadee *et al.*, 2010).

O entendimento dos determinantes da transmissão de patógenos em populações de morcegos é fundamental para o manejo dos riscos à saúde humana e animal, além de ter implicações na conservação dessas espécies (Plowright *et al.*, 2015). Identificar a natureza da dinâmica espacial e como ela contribui para a persistência viral prolongada é essencial para aprimorar estratégias de controle da raiva (Streicker *et al.*, 2016).

Estudos recentes indicam que o controle localizado de morcegos pode ser mais eficiente se combinado com a vacinação sistemática do gado, especialmente em áreas com histórico de surtos (Janoušková *et al.*, 2023). Dessa forma, os modelos de distribuição de espécies, que relacionam registros de ocorrência com variáveis ambientais, tornam-se ferramentas eficazes para prever a presença de vetores ou reservatórios, como o *D. rotundus*.

A detecção de expansões epizoóticas ou de padrões sazonais de transmissão do VR pode auxiliar na antecipação de episódios de transbordamento, possibilitando vacinação preventiva de humanos e rebanhos ou intervenções direcionadas em populações de morcegos antes de surtos (Delpietro *et al.*, 1972; Lopes *et al.*, 2015).

A literatura aponta que a exposição à raiva não está necessariamente ligada a indicadores clássicos, como densidade de MH. Isso reforça a importância de entender os processos espaciais e ecológicos mais amplos que sustentam a circulação viral. Mas, a escassez de dados sobre a biologia populacional de morcegos e a dinâmica viral é um desafio para prever surtos com precisão (Plowright *et al.*, 2015).

Esclarecer essas lacunas de conhecimento sobre a manutenção do vírus rábico pode otimizar a alocação de vacinas para populações com maior risco de transbordamento e orientar estratégias de manejo de MH (Meza *et al.*, 2022). Portanto, o conhecimento da ecologia, biologia e etologia de *D. rotundus* possibilita o desenvolvimento de métodos para o controle de sua população.

Dessa forma, a efetividade das estratégias de controle depende diretamente da escala espacial e ecológica na qual a transmissão ocorre, reforçando a necessidade de abordagens integradas que considerem tanto a dinâmica local das populações de morcegos quanto os fatores ambientais e sociais que estruturam o risco em níveis locais e regional.

## CAPÍTULO III

### 3 ASSOCIAÇÃO ESPACIAL ENTRE QUEIMADAS, ESTIAGEM E INCIDÊNCIA DE RAIVA EM HERBÍVOROS NO ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL

Artigo científico publicado na Revista Medicina Veterinária (UFRPE) Recife, v.19, n.1, 2025; e-ISSN 2675-6617; Qualis: B2. DOI 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 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.

Palavras chaves: zoonose; epidemiologia; prevenção; mamíferos-silvestres

**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.

## 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 MH, em especial *D. 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 está fortemente associado controle dessa espécie de quirópteros (Souza *et al.*, 2005), apesar de outras espécies de morcegos também transmitirem o vírus da raiva (VR) (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, 2022). Abrigos artificiais para o *D. 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 VR 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 VR 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).

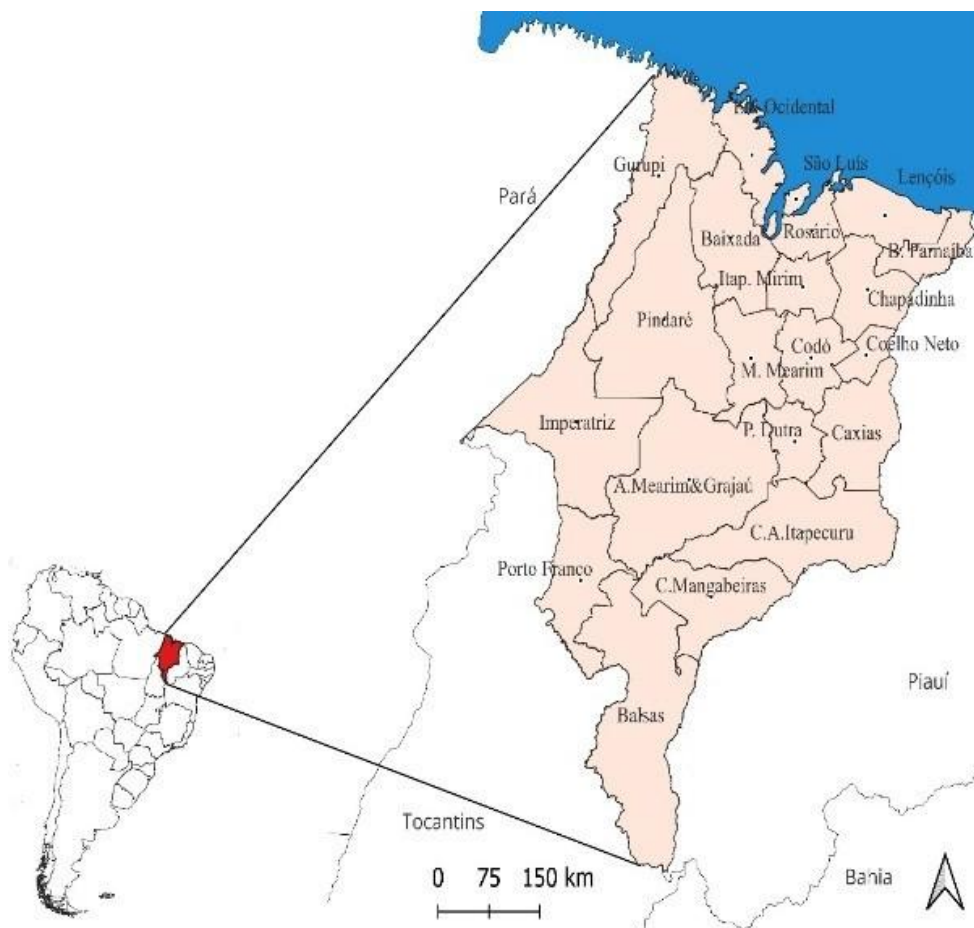
Portanto, objetivou-se identificar fatores geoespaciais de risco associados à ocorrência de casos de raiva com base em dados relacionados a incêndios florestais e redução da superfície de água. Os resultados da análise podem ser úteis no planejamento de estratégias voltadas para prevenção da disseminação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

## Material e Métodos

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 km<sup>2</sup> 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 3.1).

Figura 2.1 - Localização da área de estudo. Maranhão. Brasil



**Fonte:** IBGE (Base cartográfica). Elaboração do autor.

**Nota:** As microrregiões seguem a divisão oficial do IBGE (2017).

## Modelagem Estatística

As variáveis preditivas testadas foram: (1) variação (perda ou ganho) da superfície da terra coberta por corpos d'água (código: p.água); (2) área queimada (cicatrices 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 2006 a 2021. Na modelagem foram ajustados pela área de cada MR em km<sup>2</sup>.

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 cicatrices 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 área adjacentes a 10km<sup>2</sup> (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).

## Resultados e discussão

No período de 2006 a 2022, foram notificados e diagnosticados no Maranhão 157 casos de raiva animal, dos quais 144 ocorreram em bovinos e equinos (Tabela 3.1). A TIR foi de 1,6 casos para cada 100.000 animais.

Tabela 2.1 Microrregiões geográficas (MR), rebanho bovino e equino e variáveis utilizadas no modelo de regressão de Poisson

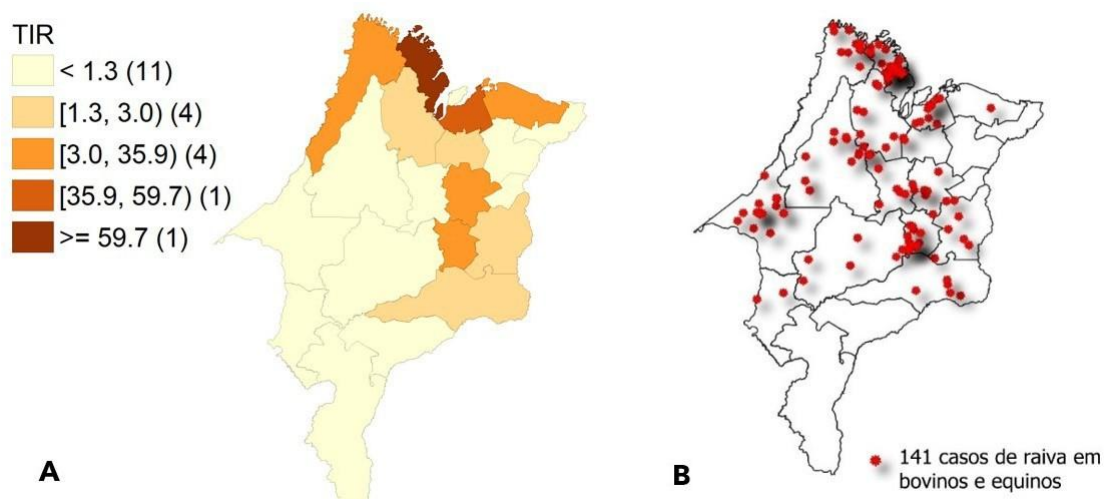
Microrregião	Casos de Raiva	Rebanho bovino e equino	Frequência de incêndios (evento/km <sup>2</sup> )	Cobertura vegetal (ha/km <sup>2</sup> )	Cicatrizes de fogo (ha/km <sup>2</sup> )	Cobertura de água (ha/km <sup>2</sup> )
Litoral Ocidental	30	50234	0,49	0,13	22,65	0,92
São Luís	0	4790	0,30	7,38	3,83	0,47
Rosário	11	30619	0,83	6,60	40,57	0,24
Lençóis Ma	1	22383	0,97	8,33	5,53	0,85
Baixada Ma	11	426219	0,85	2,00	36,87	0,38
Itapecuru Mirim	2	106502	1,19	15,57	27,66	0,02
Gurupi	11	338470	0,80	3,92	54,91	0,29
Pindaré	12	1702406	1,22	4,30	46,09	-0,01
Médio Mearim	5	742127	0,75	10,31	55,58	0,03
Mearim e Grajaú	8	1138972	0,85	1,39	34,93	0,09

Presidente Dutra	13	368539	1,84	17,68	98,15	0,05
Baixo Parnaíba	0	42643	1,01	26,01	52,24	0,07
Chapadinha	0	44987	1,59	19,38	26,07	0,72
Codó	8	264180	1,42	21,84	33,02	0,06
Coelho Neto	0	17496	1,19	16,91	37,05	0,03
Caxias	5	205354	1,23	20,06	59,13	0,02
Ch. A.Itapecuru	5	384677	1,47	22,43	65,97	0,09
Porto Franco	2	584583	1,96	13,96	143,50	0,03
G. de Balsas	0	371029	0,88	19,51	63,81	-0,89
Ch.Mangabeiras	0	276086	1,22	14,66	149,67	0,02

Fontes: IBGE (rebanho), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (fogo), MapBiomas (cobertura e cicatrizes) e Agência de Defesa Agropecuária do Maranhão AGED-MA (casos de raiva).

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 3.2).

Figura 2.2 - (A) Distribuição de taxa de incidência de raiva em bovinos e equinos por microrregião (MR) e (B) casos de raiva no Maranhão (2006–2022)

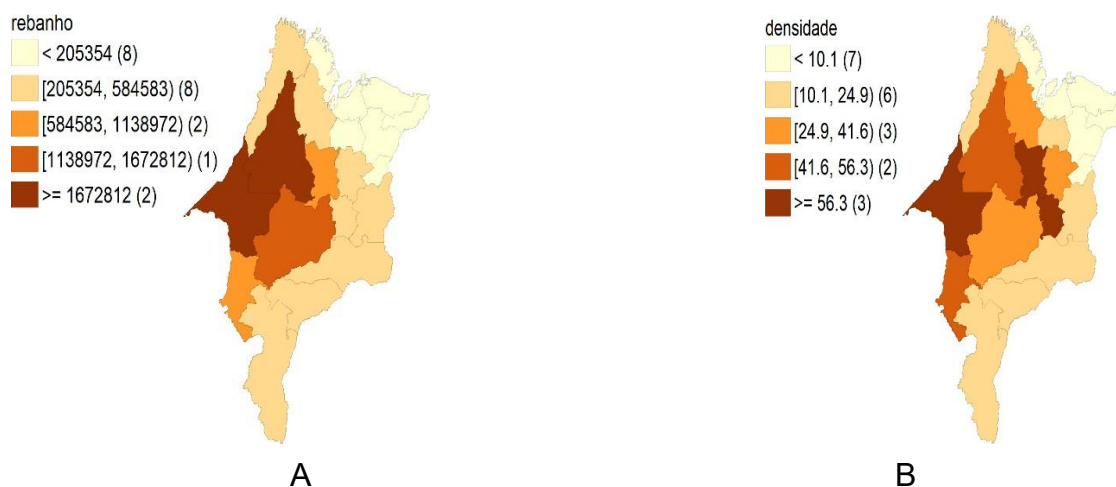


Fonte: AGED-MA (dados de raiva); IBGE (base cartográfica). Elaboração do autor.

Nota: Os pontos em vermelho indicam casos confirmados de raiva animal.

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 3.3).

Figura 2.3 - (A) Tamanho de rebanho bovino e equino e (B) densidade animal por MR (2024)



Fonte: IBGE (base cartográfica dados de rebanho bovino e equino). Elaboração do autor  
 Nota: Tonalidades mais escuras indicam maior quantidade ou densidade de rebanhos.

### Associação espacial 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 3.4 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.

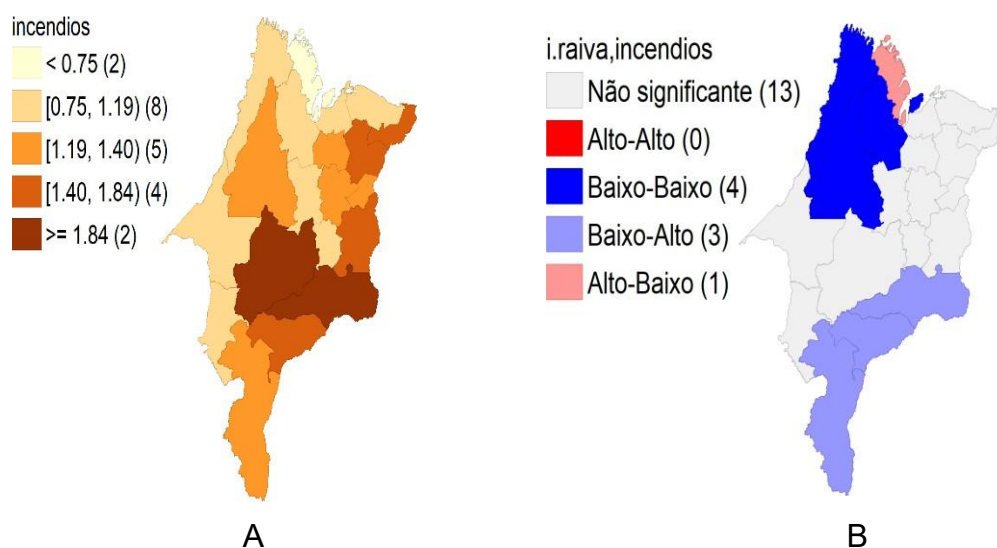
As MRs da Baixada, São Luís e Gurupi se destacaram como áreas de baixa incidência de raiva, enquanto o Litoral Ocidental apresentou comportamento do tipo alto-baixo, correspondendo a uma alta incidência associada à baixa frequência de incêndios entre os vizinhos. A MR de Gurupi com TIR = 3,25 está inserida em área de padrão baixo-baixo (Figura 3.4B) 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 VR.

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 VR.

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 2.4 – Distribuição da (A) frequência de focos de incêndio e (B) agrupamento pelo índice de bivariada local de Moran (BiLISA) entre TIR e focos de incêndio (2006–2022)



Fonte: INPE (focos de incêndio); AGED-MA (casos de raiva); IBGE (base cartográfica).  
Elaboração do autor.

Nota: Figura A mostra maior concentração de incêndios no centro e oeste do Estado. Figura B mostra as categorias do BiLISA: alto–alto, baixo–baixo, alto–baixo e baixo–alto, os valores entre parênteses indicam o número de MR em cada padrão. O resultado do teste BiLISA = -0,270 indica uma associação espacial negativa entre a frequência de incêndios e a TIR.

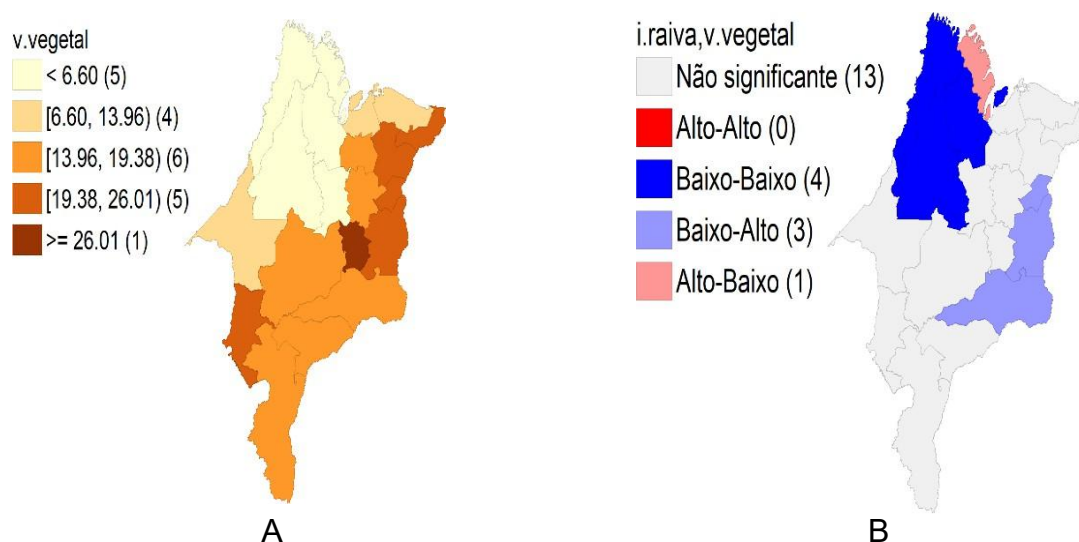
### Associação entre o desmatamento e a TIR

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 3.5A). O valor do BiLISA para esta variável foi de -0.237. Isso sugere que a virose tem maior incidência em áreas menos desmatada. Já a MR do Litoral Ocidental teve comportamento alto-baixo (Figura 3.5B, 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 3.5B, 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.

Figura 2.5 - (A) variação de cobertura vegetal e (B) agrupamento espacial BiLISA entre TIR e desmatamento (2006–2022)



**Fonte:** MapBiomass (cobertura vegetal); AGED-MA (raiva animal). Elaboração dos autores.

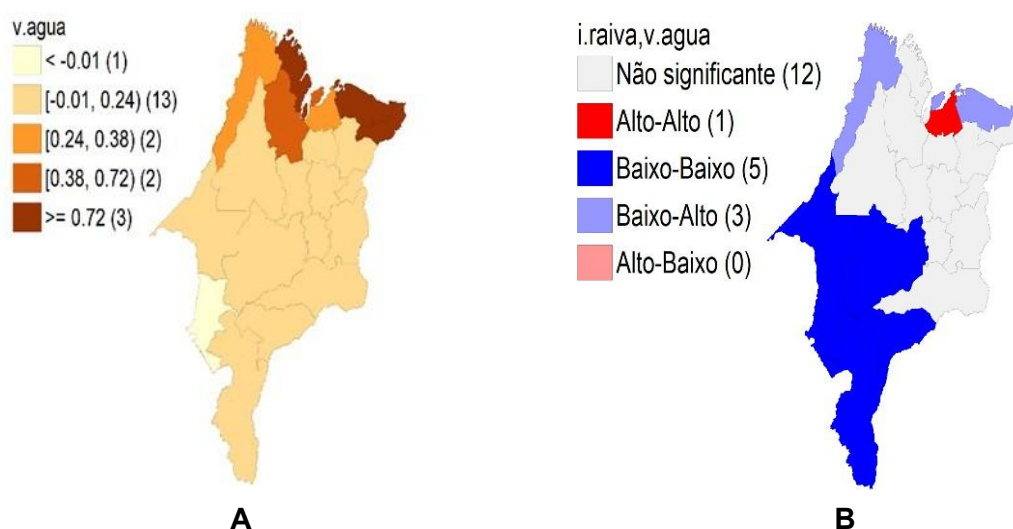
**Nota:** O valor do teste (BiLISA = -0,227) sugere que o aumento do desmatamento está associado a uma redução da TIR nas microrregiões próximas. Isso pode estar associado à perda de habitat e redução na população de morcegos hematófagos (MH). As cores do mapa B evidenciam os diferentes padrões de agrupamento espacial.

### 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 3.6A). 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 3.6B).

Figura 2.6 - (A) variação da superfície de água e (B) agrupamento espacial BiLISA entre TIR e perda de superfície hídrica (2006–2022)



Fonte: MapBiomias (superfície de água); AGED-MA (raiva animal). Elaboração do autor.  
 Nota: O resultado do teste BiLISA = 0,221,  $p \leq 0,05$  sugere que perda de superfície hídrica está relacionado ao aumento da TIR, isso pode estar relacionado ao maior aproximação e contato entre colônias de MH. As cores do mapa B evidenciam os diferentes padrões de agrupamento espacial.

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, a redução das fontes naturais de água pode estar relacionada a movimentos de migração de morcegos e outros animais silvestres, elevando a possibilidade de contato entre colônias e facilitando a disseminação do VR.

### Modelo final da Regressão de Poisson

Tabela 2.2 - Resultados da regressão de Poisson para a taxa de incidência de raiva (TIR) em relação às variáveis: frequência de incêndios (f.incendio), desmatamento (p.vegetal), superfície de água (p.água) e cicatrizes de fogo (c.fogo)

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor-z	p- valor
f.incendio	-1,321	0.0,322	-3.850	<0.001
p.vegetal	0,053	0.0,015	3.323	<0.001
p.agua	3,40	0.0,399	11.476	<0.001
c.fogo	-0,02	0.0,020	-0.671	0. 311

Fonte: MapBiomias; Elaboração do autor

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.

## CONCLUSÃO

Esta pesquisa constatou 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.

### **Declaração de Conflito de Interesse**

Não há conflitos de interesse a declarar.

### **Comitê de Ética**

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

### **Agradecimentos**

## 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.
- 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 e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Controle da raiva dos herbívoros: manual técnico 2022*. 2. ed. v. 3. Brasília: MAPA/ACS, 2022. Disponível em: [https://wikisda.agricultura.gov.br/pt-br/Sa%C3%BAde-Animal/Manual\\_Tecnico\\_Control\\_e\\_da\\_Raiva\\_dos\\_Herbivoros](https://wikisda.agricultura.gov.br/pt-br/Sa%C3%BAde-Animal/Manual_Tecnico_Control_e_da_Raiva_dos_Herbivoros). Acesso em: 28 fev. 2025.
- BRASIL. Departamento de Saúde Animal e Insumos Pecuários. **Raiva dos herbívoros: ficha técnica**. Brasília, DF: MAPA, 2020. Disponível em: [https://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/fichas\\_tecnicas/ficha\\_tecnica.html](https://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/fichas_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](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.

MapBiomass. **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.

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

MapBiomas. **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. **Viroses 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.

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.

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISE DAS ESPOLIAÇÕES POR MORCEGOS HEMATÓFAGOS NA REGIÃO DA FLORESTA DOS GUARÁS

#### 4.1 Métodos

O presente capítulo tem como objetivo desenvolver e avaliar um modelo preditivo espacial para a ocorrência de espoliações por MH (*D. rotundus*) na Região da Floresta dos Guarás, Maranhão, utilizando o algoritmo Random Forest (RF) e um conjunto integrado de variáveis ambientais, antrópicas e estruturais. Adicionalmente, o capítulo incorpora análises espaciais exploratórias, incluindo a aplicação do Índice Bivariado Local de Moran (BiLISA), com o propósito de examinar a associação espacial entre as ações de controle populacional de MH (captura e eutanásia) e a distribuição dos focos de raiva animal, de forma complementar ao modelo preditivo.

A abordagem adotada busca identificar áreas de maior risco de espoliação em propriedades rurais e contextualizar espacialmente as intervenções de controle, contribuindo para o aprimoramento da vigilância epidemiológica e para o direcionamento mais eficiente das ações do Programa Nacional de Controle da Raiva dos Herbívoros (PNCRH).

##### 4.1.1 Desenho do estudo

Foi adotada abordagem aplicada, com métodos quali-quantitativos, e desenho descritivo, explicativo, avaliativo e comparativo. Integra dados secundários, observações diretas e intervenções planejadas. A investigação foi organizada em três componentes metodológicos inter-relacionados, voltados a compreender a dinâmica da raiva em herbívoros e sua associação com fatores ambientais, populações de MH e variáveis ecológicas de risco.

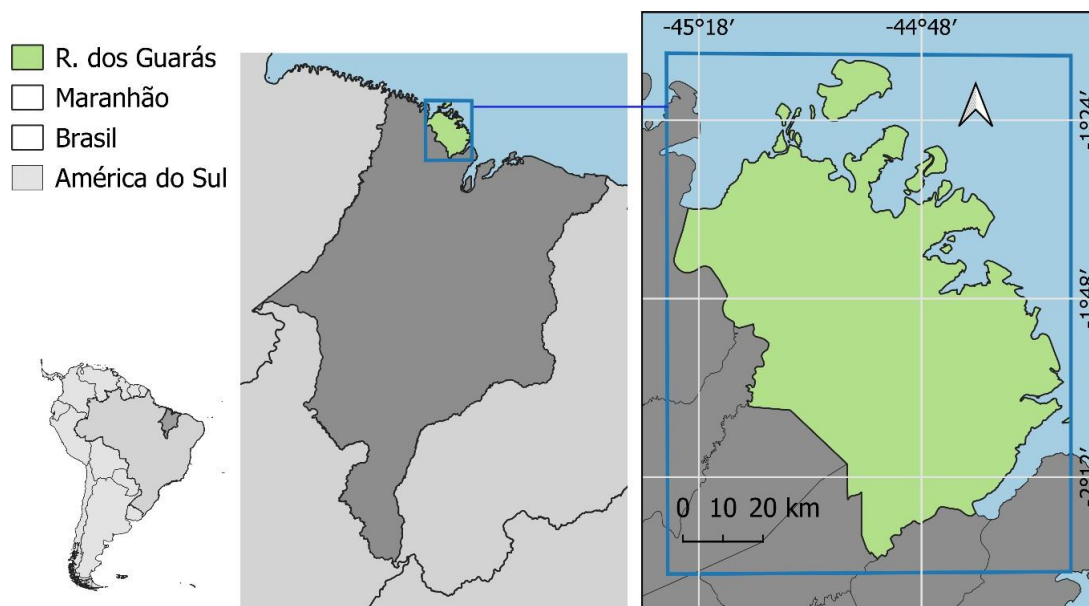
A coleta de dados contemplou registros históricos de capturas de morcegos e buscas ativas realizadas entre 2005 e junho de 2021 por servidores da Agência de Defesa Agropecuária do Maranhão (AGED-MA), gentilmente disponibilizados para esta pesquisa. Novos levantamentos e intervenções conduzidos entre 2022 e 2025, conferindo ao estudo características transversais e longitudinais. Além disso, durante visitas foram entrevistados pecuaristas e cuidadores de animais por meio de formulário padronizado, contemplando variáveis relacionadas à raiva animal e aos morcegos.

Registros oficiais de focos de raiva em herbívoros na Região da Floresta dos Guarás, fornecidas pela AGED-MA foram utilizados nas análises estatísticas para identificação de padrões e fatores associados à ocorrência da doença.

#### 4.1.2 Descrição da área

A área de estudo foi a Região da Floresta dos Guarás. Trata-se de área localizado no litoral ocidental do estado de Maranhão e banhada pelo oceano atlântico abrange os municípios de Mirinzal, Central do Maranhão, Cedral, Porto Rico do Maranhão, Guimarães, Cururupu, Serrano do Maranhão, Bacuri e Apicum-Açu (Maranhão, 2025a). O território é caracterizado pela presença expressiva de manguezais, baías, estuários, praias e ilhas (Maranhão, 2025b), inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) das Reentrâncias Maranhenses, pertencente ao bioma Amazônia (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Localização da Região da Floresta dos Guarás, Maranhão, Brasil



**Fonte:** IBGE (base cartográfica). Elaboração do autor.

**Nota:** A área destacada representa a zona litorânea onde se concentrou o estudo de campo.

Do ponto de vista sanitário e epidemiológico, a região apresenta histórico documentado de espoliações por MH, com ataques recorrentes a animais domésticos e, eventualmente, a seres humanos (Arruda *et al.*, 2013). A combinação de clima úmido, paisagem fragmentada, criação extensiva de animais e proximidade entre áreas silvestres e comunidades humanas favorece a ocorrência de zoonoses como a raiva, tornando a região um espaço estratégico para estudos interdisciplinares envolvendo ecologia de doenças, vigilância sanitária e conservação ambiental.

Quanto às condições hidrometeorológicas, o período chuvoso de 2025 no Maranhão apresentou volumes abaixo da média histórica na maior parte do estado, intensificando o déficit hídrico no período seco. Em contrapartida, o extremo noroeste maranhense, incluindo a Região da Floresta dos Guarás, registrou maiores acumulados de precipitação, em função da influência do clima amazônico e da Zona de Convergência Intertropical ao longo da faixa litorânea (SEMA, 2025).

A área rural da Região da Floresta dos Guarás é predominantemente formada por remanescentes quilombolas. O registro dessas unidades, no órgão oficial de defesa agropecuária, ocorre como propriedades coletivas, uma vez que os animais de produção, em sua maioria bovinos para subsistência, costumam pastar em áreas comuns e são recolhidos à noite próximos às residências dos produtores rurais.

A escolha da Região da Floresta dos Guarás justifica-se pela elevada incidência de raiva animal registrada entre 2006 e 2024 (taxa 24 vezes superior à média estadual). Apesar de possuir apenas 42.488 bovinos e corresponder a 1,7% da área territorial do Estado, a região contabilizou 32 casos da doença, o que representa 20,12% de todos os casos de raiva notificados no Maranhão no período analisado.

#### 4.1.3 Critérios de inclusão e exclusão das unidades amostrais

Os modelos espaciais foram construídos com base em dois conjuntos de pontos: (i) propriedades com registros confirmados de raiva animal registrados na Região da Floresta dos Guarás entre 2006 e 2024, associadas à geração de pontos de controle aleatórios (pseudoausências) em número três vezes superior ao de ocorrências, e (ii) propriedades com histórico de ataques por MH ( $n = 303$ ), correspondentes aos relatos de espoliação em animais domésticos. Os pontos de ausência ( $n = 157$ ) representaram propriedades onde não foram registradas queixas de espoliação.

Para evitar autocorrelação espacial e sobreposição entre observações, foi estabelecida uma zona de exclusão (buffer) de 300 metros entre pontos de presença e ausência, sendo removidos os pontos de ausência situados dentro desse limite. Foram incluídas no modelo as variáveis preditoras que alcançaram significância estatística na análise univariada (altitude, área queimada, uso e cobertura do solo, área de borda, tamanho de fragmentos, distância aos corpos d'água, distância às rodovias e distâncias aos aglomerados rurais).

O uso de dados secundários neste estudo apresenta limitações metodológicas inerentes que podem ter efeito na precisão espacial das análises. Essas limitações foram consideradas na interpretação dos resultados e minimizadas por meio da validação cruzada entre diferentes fontes de informação, da verificação manual das coordenadas geográficas e da exclusão de registros inconsistentes ou duplicados durante o processamento e a modelagem espacial. Não foi realizada imputação de dados ausentes.

Modelos de predição são desenvolvidos para estimar a probabilidade ou risco de uma doença ou condição específica estar presente (modelos diagnósticos) ou de um evento específico ocorrer no futuro (modelos prognósticos), para fundamentar sua tomada de decisão. Os estudos de desenvolvimento de modelos visam derivar um modelo de predição selecionando os preditores relevantes e combinando-os estatisticamente em um modelo multivariável (Collins et al., 2015).

Entre as principais restrições, destacam-se a possibilidade de subnotificação de casos de raiva, especialmente em áreas de difícil acesso ou com menor estrutura de vigilância; as inconsistências ou lacunas nos registros, como coordenadas imprecisas e ausência de padronização das informações (por exemplo, buscas ativas realizadas por diferentes profissionais); e a desigualdade na cobertura temporal dos dados, decorrente da variação das ações de vigilância entre anos e municípios. Além disso, parte das informações sobre espoliações é autorreferida por produtores rurais, podendo estar sujeita a vieses de memória e percepção.

#### 4.1.4 Unidades amostrais e tamanho da amostra

Para a modelagem preditiva, as unidades amostrais consideradas neste estudo foram propriedades rurais georreferenciadas e cadastradas no Órgão Estadual de defesa agropecuária contendo animais de produção e visitadas durante as atividades de vigilância epidemiológica da raiva pela equipe da AGED-MA. O tamanho da amostra foi estimado a partir da fórmula clássica para estudos com variáveis quantitativas pareadas, conforme proposta por Cochran (1977):

$$n = \left[ \frac{(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta}) \times Sd}{D} \right]^2$$

Onde:

$n$  = número mínimo de propriedades;

$Z_{\alpha/2}$  = valor crítico da distribuição normal para o nível de significância (1,96 para 95% de confiança);

$Z_{\beta}$  = valor correspondente ao poder estatístico (1,645 para 95% de poder);

$Sd$  = desvio padrão das diferenças entre pares (estimado em 2,5);

$D$  = diferença mínima relevante entre os pares (definida como 1,0).

Substituindo os valores:

$$n = \left[ \frac{(1,96 + 1,645) \times 2,5}{1,0} \right]^2 = (9,0125)^2 \approx 81,2$$

Assim, o valor final arredondado foi de 82 propriedades. No entanto, durante o estudo foram visitadas 119 propriedades pois o tamanho amostral foi condicionado pela disponibilidade dos dados observacionais da vigilância epidemiológica. O cálculo amostral foi utilizado apenas como referência de suficiência mínima, não como critério limitante para o desenvolvimento do modelo preditivo, conforme recomendado para estudos de aprendizado de máquina.

#### 4.1.5 Procedimentos de captura e tratamento de *D. rotundus*

Os procedimentos de captura foram conduzidos em conformidade com as diretrizes do PNCRH (Brasil, 2022) e o *Manual Prático de Captura de D. rotundus em Currais* (capítulo 6), com respeito aos princípios de bem-estar. Os morcegos capturados foram examinados, fotografados e identificados com base em características morfológicas externas e em seguida, receberam tratamento com pasta anticoagulante contendo 2,0 g de warfarina a 2%, sendo posteriormente liberadas para retorno à colônia.

As propriedades atendidas foram revisitadas entre oito e quinze dias após cada intervenção para verificar possíveis reincidências de espoliações, permanecendo sob acompanhamento ao longo de todo o período da pesquisa. As capturas foram registradas em formulários padronizados, contendo informações sobre data, local, número de morcegos capturados, espécie e sexo (Anexo I).

#### 4.1.6 Variáveis ambientais e antrópicas

Todas as variáveis preditoras foram extraídas previamente à modelagem e representam condições ambientais e antrópicas potencialmente associadas ao risco de espoliação e transmissão da raiva, sendo reclassificadas ou padronizadas conforme descrito na tabela 4.1.

Tabela 4-1 Variáveis ambientais, antrópicas e estruturais utilizadas na análise espacial, fontes de dados, períodos e descrição

Variável	Fonte	Ano / Período	Descrição / valores
Área queimada	MapBiomias – Coleções temáticas	2005–2024	Classificada como binária: 1 = presença de cicatriz de fogo; 0 = ausência.
Frequência de incêndios	MapBiomias – Coleções temáticas	2005–2024	Número de eventos registrados; zero = áreas nunca queimadas.
Desmatamento acumulado	MapBiomias – Coleções temáticas	2005–2024	Substituição de vegetação primária/secundária; binária (1 = presença; 0 = ausência).
Uso e cobertura da terra	MapBiomias – Coleção 9	2014	Reclassificada em: floresta, vegetação arbustiva, agropecuária, área não vegetada, corpos d'água.
Distância a corpos d'água	IBGE – Portal de Mapas	2025	Distância mínima (km) calculada via <code>terra::distance()</code> no R.
Distância a aglomerados rurais	IBGE – Portal de Mapas	2025	Distância mínima (km) calculada com <code>terra::distance()</code> .
Distância a rodovias	OpenStreetMap (ODbL)	2024	Distância mínima (km) calculada no R; base cartográfica livre.
Altitude	TOPODATA – INPE	2025	Modelo digital de elevação (MDE) usado para extrair altitude dos pontos.
Declividade	Derivada do MDE (INPE)	2025	Calculada com <code>terrain(v = "slope")</code> (pacote terra), em graus.
Efeito de borda – distância à borda	MapBiomias	–	Classes: ≤30 m; ≤60 m; ≤90 m; ≤120 m; ≤150 m; ≤300 m; ≤600 m; ≤1000 m.
Tamanho dos fragmentos de vegetação	MapBiomias	2014	Classes: ≤3 ha; ≤5 ha; ≤10 ha; ≤25 ha; ≤50 ha; ≤75 ha; não fragmentado (>75 ha).
Densidade animal	GLW4 – FAO	2024	Densidade e abundância de espécies pecuárias em escala global.

Resoluções: MapBiomias: 30 m; TOPODATA – INPE (MDE e declividade): 30 m; GLW4 – FAO (densidade animal): 25 km<sup>2</sup>; Variáveis de distância (corpos d'água, aglomerados rurais, rodovias): medição contínua em km

#### 4.1.7 Classificação temporal das propriedades monitoradas

Com base no acompanhamento longitudinal das propriedades visitadas entre 2005 e 2024, foi adotado um sistema de classificação para caracterizar os padrões de espoliação por MH ao longo do tempo. As propriedades foram agrupadas em quatro categorias:

**G0** – propriedades **sem registros de espoliação** durante todo o período de monitoramento;

**G1** – propriedades **inicialmente sem registros**, mas que passaram a apresentar ocorrências em visitas posteriores;

**G2** – propriedades com **registros iniciais de espoliação**, mas que deixaram de apresentar novas ocorrências ao longo do tempo;

**G3** – propriedades que **mantiveram registros de espoliação** em todas as visitas realizadas.

Essa classificação possibilitou a análise da persistência, emergência e interrupção das espoliações em diferentes contextos ambientais e de manejo, permitindo uma abordagem mais refinada sobre a dinâmica espaço-temporal do risco.

#### 4.1.8 Tratamento dos dados, visualização e análise estatística dos resultados

Os dados sobre pontos de ocorrência de raiva e locais com e sem histórico de espoliações, foram organizados em planilhas eletrônicas. Antes da elaboração e afinação dos modelos, foi realizada uma análise univariada das variáveis com potencial associação à epidemiologia da raiva e à ecologia de MH, comparando com variáveis ambientais e antrópicas.

Foram geradas curvas de densidade de Kernel (*Kernel Density Estimation-KDE*) para cada variável contínua, destacando quartis ou intervalos definidos e adicionando anotações explicativas, com o objetivo de facilitar a visualização de padrões de distribuição entre os grupos de ocorrência e controle.

Fórmula geral da KDE:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$$

Onde:

- $\hat{f}(x)$ : valor da densidade estimada no ponto x
- n: número de observações
- $x_i$ : cada observação
- K: função kernel (geralmente gaussiana)
- h: parâmetro de suavização chamado largura de banda (bandwidth)

#### 4.1.9 Análise espacial de espoliações por MH pelo índice de bivariada local de Moran (BiLISA)

Para investigar a hipótese de que as práticas de captura e tratamento de MH com anticoagulante poderiam induzir maior dispersão dos indivíduos sobreviventes, aplicou-se o Índice Bivariado Local de Moran (BiLISA), conforme descrito por (Anselin et al., 2006). Esse método permite identificar padrões locais de associação espacial entre duas variáveis distintas, considerando simultaneamente o valor de uma variável em determinada unidade espacial e o valor médio da segunda variável em suas áreas vizinhas.

O BiLISA possibilita detectar agrupamentos locais de correlação espacial, classificados como: alto–alto (valores elevados da primeira variável associados a valores elevados da segunda nas áreas vizinhas), baixo–baixo (valores baixos associados a baixos), alto–baixo e baixo–alto (relações espaciais inversas), além de áreas sem associação significativa. Essa abordagem fornece uma compreensão detalhada das relações espaciais locais entre eventos potencialmente relacionados — neste caso, a captura de MH e a ocorrência de espoliações.

As unidades espaciais consideradas foram os setores censitários do IBGE (IBGE, 2025). Setores muito pequenos e contíguos foram fundidos, resultando em 62 unidades espaciais com dimensões adequadas para a análise. A matriz de vizinhança espacial foi construída com base no critério de contiguidade do tipo “rainha” (Queen), que define como vizinhos todos os polígonos que compartilham fronteira ou vértice comum, admitindo até oito vizinhos por setor.

O teste de significância estatística do índice foi conduzido por meio de 999 permutações aleatórias, permitindo avaliar a probabilidade de ocorrência dos padrões observados sob a hipótese nula de ausência de autocorrelação espacial. Os resultados foram representados graficamente em mapas de agrupamento locais, evidenciando áreas de associação espacial significativa entre as variáveis analisadas.

#### 4.1.10 Modelagem por Random Forest (RF)

A modelagem da distribuição espacial de focos de raiva e ataques de MH (MH) foi realizada por meio do algoritmo RF (Breiman, 2001). Esse método de aprendizado de máquina baseia-se em um conjunto de árvores de decisão construídas a partir de amostras aleatórias dos dados, cujos resultados são posteriormente combinados para reduzir a variância e aumentar a robustez das previsões.

O modelo foi desenvolvido com o objetivo de estimar a probabilidade de ocorrência de espoliações em propriedades rurais da Região da Floresta dos Guarás, a partir de variáveis ambientais, antrópicas e estruturais previamente selecionadas. Essa abordagem permitiu identificar padrões espaciais associados ao risco de espoliação e gerar superfícies preditivas úteis para o direcionamento de ações de vigilância e controle populacional de MH.

O modelo RF foi ajustado com a construção de 1.000 árvores de decisão ( $n_{tree} = 1000$ ), número definido com o objetivo de estabilizar o erro de generalização e reduzir a variância das predições. O número de variáveis candidatas avaliadas em cada divisão dos nós foi definido como a raiz quadrada do total de preditores disponíveis ( $m_{try} = \sqrt{p}$ ), estratégia comumente adotada para modelos de classificação binária e que favorece a diversidade entre as árvores. Para a avaliação do desempenho preditivo, foi realizada validação interna por meio da divisão aleatória do conjunto de dados em amostra de treinamento (70%) e amostra de teste (30%), assegurando que a capacidade de generalização do modelo fosse avaliada em dados não utilizados no ajuste.

O desempenho preditivo do modelo RF foi avaliado por meio de um conjunto de métricas complementares, incluindo a Área sob a Curva ROC (Area Under the Curve – AUC), derivada da Curva Característica de Operação do Receptor (Receiver Operating Characteristic – ROC), a Estatística de Habilidade Verdadeira (True Skill Statistic – TSS), bem como a sensibilidade e a especificidade. Essas métricas são amplamente empregadas em estudos de modelagem ecológica e epidemiológica, por permitirem uma avaliação robusta da capacidade discriminatória e do equilíbrio entre erros de omissão e comissão do modelo

A AUC foi utilizada para mensurar a capacidade discriminativa global do modelo, enquanto o TSS, calculado como a soma da sensibilidade e da especificidade menos um ( $TSS = \text{sensibilidade} + \text{especificidade} - 1$ ), permitiu avaliar a acurácia de forma independente da prevalência (Allouche *et al.*, 2006).

O ponto de corte ótimo para distinção entre presença e ausência foi determinado pelo índice de Youden, que maximiza simultaneamente a sensibilidade e a especificidade, equilibrando os erros de falso positivo e falso negativo (Sun *et al.*, 2025; Youden, 1950). Considerando o objetivo epidemiológico do estudo, a sensibilidade foi priorizada na interpretação dos resultados, de modo a reduzir o risco de subestimação de áreas com maior probabilidade de ocorrência de espoliações por *D. rotundus*.

A relevância das variáveis preditoras no modelo RF foi avaliada por meio de duas métricas complementares de importância: a Média da Redução da Acurácia (Mean Decrease Accuracy – MDA) e a Média da Redução do Índice de Gini (Mean Decrease Gini – MDG). A MDA expressa a perda de desempenho preditivo do modelo quando os valores de uma variável são permutados aleatoriamente, indicando o quanto esse preditor contribui para a correta classificação das propriedades quanto à ocorrência de espoliações. Já o índice de Gini reflete a contribuição de cada variável para o aumento da pureza dos nós nas árvores de decisão, evidenciando sua capacidade de separar adequadamente as classes durante o processo de modelagem.

A utilização conjunta dessas métricas permitiu identificar os preditores mais influentes na estimativa do risco de espoliação por *D. rotundus* e oferece subsídios para a interpretação epidemiológica dos resultados e para o direcionamento de estratégias de vigilância e controle.

#### 4.1.11 Testes de associação para variáveis estruturais e socioeconômicas

Para a comparação das variáveis contínuas (por exemplo, área queimada, distância do estábulo à moradia, altitude, declividade, tamanho do rebanho e número total de animais por propriedade) entre os grupos com e sem registros de espoliação por MH, utilizou-se o teste de soma de postos de Wilcoxon, adequado para amostras independentes e distribuições não normais.

Para as variáveis categóricas, aplicou-se o teste exato de Fisher, com cálculo da razão de chances (odds ratio – OR), a fim de avaliar a força e a direção das associações entre fatores estruturais, ambientais e socioculturais e a ocorrência de espoliação. O nível de significância adotado foi de 5% ( $p < 0,05$ ).

Todos os procedimentos descritos foram integrados para garantir a consistência na análise, permitindo associar as variáveis ambientais, estruturais e socioeconômicas aos padrões espaciais de ocorrência da raiva e de ataques por MH.

#### 4.1.12 Softwares e pacotes utilizados no estudo

Todas as análises de modelagem, curvas de densidade de Kernel e testes estatísticos foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2025). Para o ajuste dos modelos de RF, utilizou-se o pacote RF; para a geração e análise das curvas ROC e cálculo da AUC, utilizou-se o pacote pROC. Os mapas temáticos foram feitos no QGIS 3.44 (QGIS Development Team, 2025) e as análises BiLISA foram realizadas no software GeoDa versão 1.22.

#### 4.1.13 Aspectos éticos e legais

Todas as etapas desta pesquisa foram conduzidas em conformidade com os princípios éticos que regem estudos envolvendo seres humanos e animais. As entrevistas foram realizadas mediante consentimento dos participantes, assegurando confidencialidade das informações e observância às normas éticas aplicáveis à pesquisa com seres humanos. Os participantes foram informados sobre os objetivos da pesquisa e assinaram o Termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice I), assegurando a liberdade de não participar ou responder as perguntas, sem prejuízos.

O protocolo de pesquisa foi submetido e aprovado pelos respectivos Comitês de Ética em Pesquisa, em conformidade com as Resoluções nº 466/12 e nº 510/16 do Conselho Nacional de Saúde (CNS) (Brasil, 2012; Brasil, 2016), que regulamentam as pesquisas envolvendo seres humanos no Brasil. O estudo foi registrado na Plataforma Brasil sob o CAAE nº 61306222.1.0000.5554 e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Estudos Superiores de Caxias – CESC/UEMA (Parecer nº 5.695.500).

## 4.2 Resultados e discussão

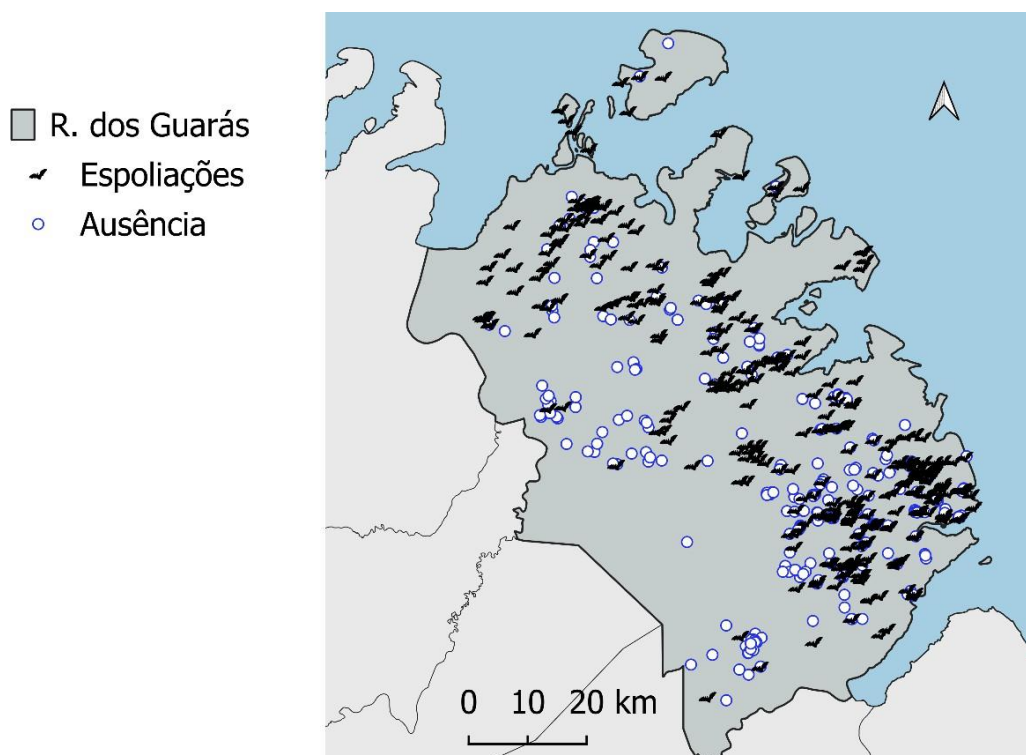
Os resultados apresentados nesta seção descrevem os padrões espaciais e temporais das espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás, bem como o desempenho do modelo preditivo espacial baseado em RF na identificação de áreas de maior risco. Adicionalmente, são apresentados os resultados das análises espaciais exploratórias, com ênfase na aplicação do Índice de Moran bivariado local (BiLISA), utilizadas para examinar a associação espacial entre a ocorrência de espoliações e a distribuição dos focos de raiva animal, de forma complementar à modelagem preditiva.

Inicialmente, são apresentados os resultados descritivos relativos à distribuição das espoliações nas propriedades rurais monitoradas. Em seguida, são discutidos o desempenho do modelo RF a importância das variáveis preditoras e os padrões espaciais estimados e a interpretação dos agrupamentos espaciais identificados pelas análises de Moran, com foco na contextualização epidemiológica das intervenções de vigilância e controle de raiva na região de estudo.

### 4.2.1 Padrões espaciais de espoliações e controle populacional de *D. rotundus*

Durante o período de coleta de dados, foram realizadas 1052 visitas de campo a produtores rurais na região de estudo. Essas visitas abrangeram 673 produtores distintos, distribuídos em 119 propriedades. A análise desses dados aponta que 58,94 % das propriedades visitadas foram afetadas por ataques de MH em algum momento (Figura 4.2). A média de visitas por propriedade foi de aproximadamente 3,02. As propriedades que registraram pelo menos um ataque de MH foram visitadas, em média, 3,75 vezes. Cada produtor foi visitado em média 1,53 vezes. Já os produtores que tiveram pelo menos um ataque de MH foram visitados, em média, 1,89 vezes.

Figura 4.2 - Distribuição espacial das propriedades com e sem histórico de espoliações por morcegos hematófagos (MH) na REGIÃO DA FLORESTA DOS GUARÁS (2005–2024).



Fonte: AGED-MA (registros de espoliação), IBGE (base cartográfica). Elaboração do autor.  
 Nota: Os símbolos pretos indicam propriedades com registro de espoliações em animais causadas por morcegos, enquanto os círculos brancos representam propriedades sem histórico de ataques.

Dos locais avaliados, 45,8% foram classificados como **G2**, indicando áreas em que houve interrupção das espoliações, o que sugere extermínio local ou emigração das populações sobreviventes a eutanásia. Já 2,9% pertencem ao grupo **G1**, representando o surgimento de novos focos, possivelmente decorrentes da imigração de *D. rotundus* para ocupar áreas anteriormente inabitadas. Em 34,7% das propriedades visitadas, as espoliações se mantiveram de forma recorrente e foram enquadradas como G3. Por fim, em 16,4% das propriedades nunca se registraram espoliações, sendo estas classificadas no grupo G0.

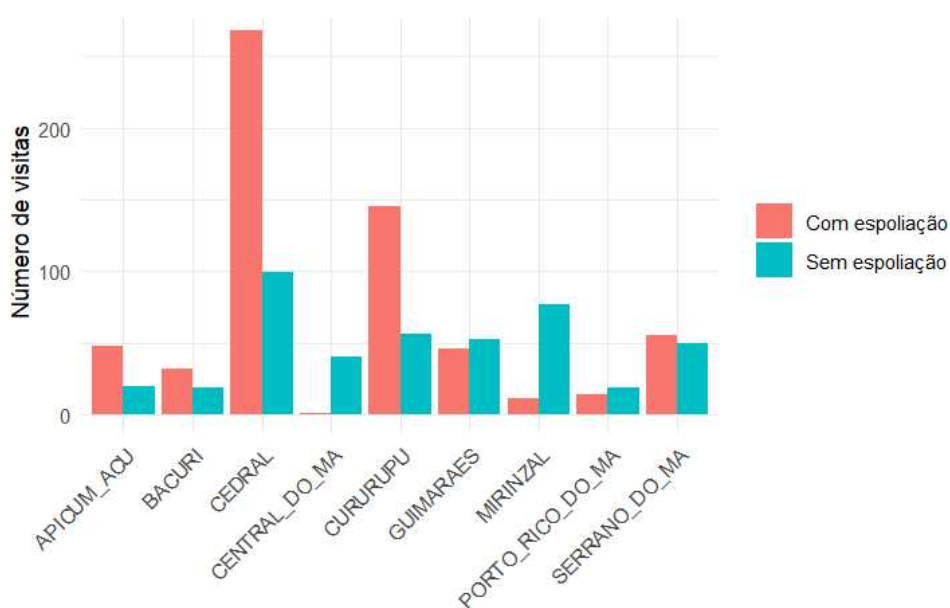
Os produtores sem animais espoliados possuíam aproximadamente 10 bovinos, enquanto aqueles com espoliação tiveram uma média de 11 bovinos. No entanto, a estatística do teste t de *Student* foi de 0,303 com um valor p de 0,694, indicando que essa diferença não é estatisticamente significativa.

A soma total de animais por produtor (considerando bovinos, equinos, suínos, caprinos e ovinos) também foi comparada entre os grupos com e sem espoliação. Os produtores sem espoliação apresentaram uma média de 15 animais, enquanto aqueles com histórico de espoliação tiveram uma média de 18 animais. O teste t de Student resultou em uma estatística t de 0,974 e um valor p de 0,330, indicando que a diferença entre os dois grupos não é estatisticamente significativa.

Quando o cálculo foi feito por propriedade, a média do total de animais por propriedade foi maior entre as afetadas (163,25 animais) em comparação aos não afetados (88 animais). No entanto, o teste t de Student indicou que essa diferença não foi estatisticamente significativa ( $t = 1,373$ ;  $p = 0,1729$ ).

A distribuição das espoliações por municípios (Figura 4.3) indicam maior concentração de ocorrências nos municípios de Cedral e Cururupu, que apresentaram os maiores números de propriedades afetadas, ambos com mais de 70% de visitas com registro de espoliação. Apicum-Açu apresentou elevado índice de espoliação, mas um número absoluto menor. Já os municípios de Guimarães e Serrano do Maranhão apresentaram um número mais equilibrado entre propriedades com e sem espoliações.

Figura 4.3 – Distribuição de espoliações por município na Floresta dos Guarás (2005–2024)



Fonte: AGED-MA (registros de espoliações); elaboração do autor (2025).

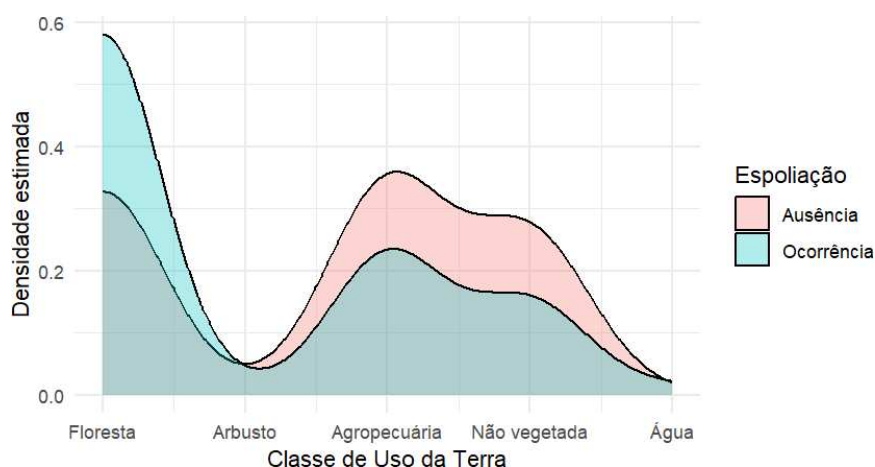
Nota: Nos municípios de Cedral, Cururupu e Apicum-Açu, o número de propriedades com espoliação superou o de propriedades sem espoliação.

#### 4.2.2 Associação entre uso e cobertura da terra e ocorrência de espoliações

A análise da associação entre cobertura do solo e os ocorrência de ataques de MH em animais de produção revelou uma predominância da classe "Floresta", que ocupa aproximadamente 81,4% da superfície analisada, seguida de "Agropecuária" (7,2%) e "Água" (6,3%). As classes "Arbusto" e "Não vegetada" representam, respectivamente, 3,9% e 1,2% da área total. Durante o período 2006 a 2024 aproximadamente 3% da área florestal foi perdida para agropecuária.

A curva de densidade de Kernel (KDE) mostra que os pontos de ausência de espoliação estão mais associados a áreas agropecuárias e não vegetadas, enquanto os pontos de maior frequência de espoliações estão presentes nas áreas de floresta. Isso sugere que ambientes antropizados ou abertos ocorrem menos espoliações (Figura 4.4).

Figura 4.4 - Distribuição Kernel (KDE) do uso e cobertura da terra associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024)



Fonte: MapBiomias (cobertura da terra); AGED-MA (registros de espoliações); elaboração do autor.  
 Notas: A figura mostra as diferenças de distribuição entre ocorrências (azul) e ausências (rosa) nas classes de uso da terra. Observa-se maior concentração de ataques em áreas agropecuárias e área não vegetadas.

Os resultados do teste de Wilcoxon revelaram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, confirmando que a distribuição das classes de uso do solo não ocorreu de forma aleatória ( $W = 72.650$ ;  $p < 0.001$ ). As ocorrências concentraram-se principalmente em áreas de floresta, enquanto as ausências foram relativamente mais frequentes em ambientes antropizados, como agropecuária e áreas não vegetadas.

O *D. rotundus* apresenta grande plasticidade ecológica, sendo capaz de ocupar desde florestas primárias até áreas perturbadas, como pastagens, sistemas silvipastoris e florestas secundárias (García-Morales *et al.*, 2013; Bolívar-Cimé *et al.*, 2019) podendo se expandir em paisagens heterogêneas e degradadas (Henry *et al.*, 2010). Embora *D. rotundus* apresente elevada capacidade de adaptação às variações ambientais, variáveis associadas à degradação e à fragmentação florestal foram determinantes na diferenciação de áreas com maior probabilidade de espoliações. As áreas destinadas a atividades agropecuárias, especialmente aquelas com maior densidade animal, apresentaram maior frequência de ataques, enquanto propriedades localizadas próximas a pequenos fragmentos de vegetação, com maior proporção de bordas, registraram menores incidências de espoliações.

Os efeitos dessas variáveis sobre a ocorrência de espoliações por morcegos podem estar relacionados ao aumento da proporção de áreas submetidas a condições ambientais adversas, maiores taxas de predação, presença antrópica e, possivelmente, disponibilidade de abrigos. Esse processo compromete a qualidade do habitat e reduz a biodiversidade, ao passo que áreas com vegetação menos fragmentada são mais eficazes na manutenção dos processos ecológicos e na provisão de serviços ecossistêmicos, como o sequestro de carbono, a regulação hídrica e a purificação do ar (Brancaion *et al.*, 2019).

Observou-se que nas áreas próximo a floresta mais preservada apesar de maior taxa de espoliações foi registra baixa incidência e raiva animal. Segundo LoGiudice *et al.*, (2003) a boa conservação florestal, causa um efeito de diluição em comunidades de morcegos. Além disso, a manutenção de populações de mamíferos silvestres de médio porte, usados como presas por MH, reduz a intensidade de migração para áreas antropizadas. Desse modo, as presas selvagens de *D. rotundus* são deslocadas de seus habitats quando há redução de recursos causadas, diante da expansão agrícola, modificando suas preferências alimentares (Stoner-Duncan *et al.*, 2014) uma vez que a elevada densidade de herbívoros em áreas de pastagem representa atrativo alimentar para *D. rotundus*.

Segundo Thoisy *et al.*, (2016) a modificação do habitat e a intensificação das atividades humanas podem alterar a dinâmica de transmissão do vírus, levando os morcegos a substituir os hospedeiros silvestres por animais domésticos e, eventualmente, por humanos como fontes de alimento em áreas ambientalmente perturbadas. De acordo com Escobar *et al.*, (2015) estas condições correlacionadas entre si, tem relação com a epidemiologia da raiva e com biologia dos MH.

Thoisy *et al.*, (2016) reforçam que em áreas com habitats bem preservados, a circulação do vírus da raiva (VR) é mantida em áreas florestais onde há alimento disponível para as principais espécies reservatório. Além disso, ambientes degradados cuja a vegetação é muito fragmentada apresentam menor capacidade de atrair indivíduos de áreas adjacentes, dificultando ainda mais manutenção populacional (Laurance *et al.*, 2018; Magioli *et al.*, 2015) e manchas vegetais maiores são mais resilientes e capazes de sustentar comunidades biológicas diversas e processos ecológicos mais complexos (Laurance *et al.*, 2011).

Sendo assim, os resultados sugerem que a frequência de espoliações por MH em herbívoros de produção é influenciada pela ocupação do solo e pela fragmentação de vegetação nativa sendo as atividades pecuárias um fator de risco, tendo potencial efeito sobre a disseminação do VR. Esse quadro está em consonância com Benavides *et al.* (2016) e Delpietro *et al.* (2017), que observaram influência das pressões antrópicas sobre a dinâmica das populações de morcegos e sua mobilidade.

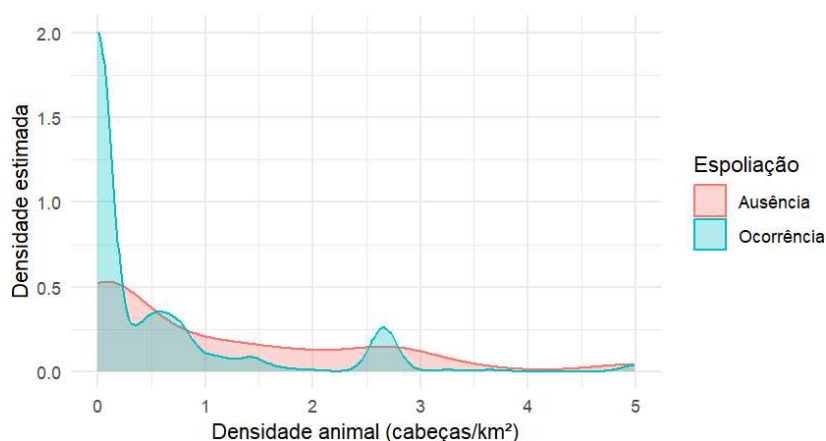
Esses achados reforçam a necessidade de preservação de florestas nativas para a sobrevivência da fauna silvestre. Animais silvestres requerem um espaço mínimo de habitat preservado para manter viáveis suas populações, pois a redução de vegetação nativa diminui os recursos essenciais à sobrevivência.

#### 4.2.3 Associação entre densidade animal na ocorrência de espoliações

A soma dos rebanhos bovino, bubalino, equino, ovino, caprino e suíno, na Região da Floresta dos Guarás é aproximadamente 42 mil cabeças, resultando em uma densidade animal de apenas 8,5 cabeças/km<sup>2</sup>, valor bem inferior à média estadual que é cerca 47 cabeças/km<sup>2</sup>.

Observou-se na análise por KDE que a densidade animal tende a ser pouco maior nos locais com registros de espoliação, com picos entre 0 e 1 e entre 2 e 3 cabeças por km<sup>2</sup> (Figura 4.5).

Figura 4.5 - Densidade animal associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024)



Fonte: GLW/FAO (densidade animal); AGED-MA (registros de espoliações). Elaboração do autor.  
 Nota: As áreas em vermelho representam os pontos de ausência e as áreas em azul representam os pontos de ocorrência de espoliação. Densidades elevadas tendem a aumentar a disponibilidade de presas para *D. rotundus*.

A análise de Wilcoxon revelou diferença estatisticamente significativa na densidade animal entre locais de ocorrência de espoliação e pontos de ausência ( $W = 64.099$ ;  $p < 0,001$ ). O intervalo de confiança (IC) 95% = 0,000032 – 0,2488 e a estimativa da diferença de localização ( $1,57 \times 10^{-5}$ ) indicam que a densidade de animais tende a ser ligeiramente maior nos locais de espoliação, embora a magnitude do efeito seja baixa.

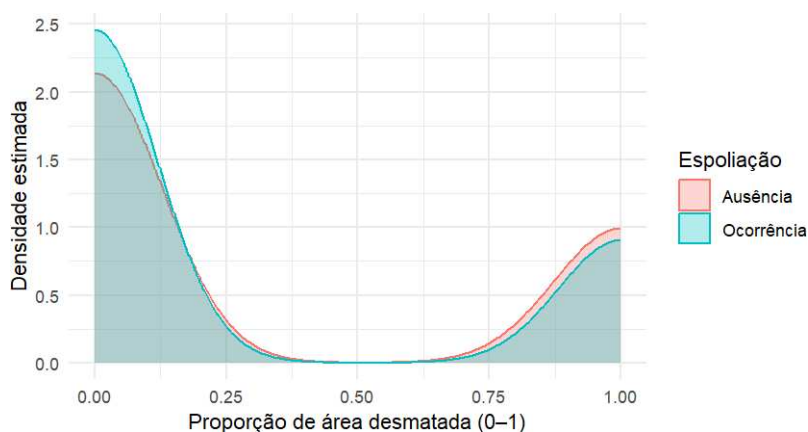
#### 4.2.4 Associação entre desmatamento, queimadas e ocorrência de espoliações

No período de 2005 a 2024, foram desmatados 519 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 9,3% do território da área de estudo, de acordo com dados analisados (MapBiomias, 2024). Para avaliar a influência do desmatamento sobre a frequência de espoliações por *MH* nos rebanhos, foi necessário considerar a baixa proporção de áreas desmatadas na região de estudo. A fim de evitar que a maioria dos pontos de ocorrência caísse em áreas não alteradas pelo fogo, e de tornar o teste mais robusto, foi criado um espaçamento (buffer) de 1000 m em torno de cada local de espoliação.

A análise por KDE das propriedades com e sem histórico de espoliação apresentou ampla sobreposição entre as distribuições (Figura 4.6) e o teste de soma de postos de Wilcoxon não revelou diferença estatisticamente significativa entre os pontos com ocorrência e sem espoliação ( $W = 86241$ ;  $p = 0,136$ ; mediana da diferença =  $5,03 \times 10^{-5}$ ; IC 95 % =  $-6,03 \times 10^{-5}$  a  $8,8 \times 10^{-5}$ ), indicando que a intensidade local de desmatamento não difere entre os dois grupos.

Esse resultado contrasta com os padrões identificados em outras regiões do estado e pode ser explicado pelo elevado grau de preservação ambiental da região.

Figura 4.6 - Proporção de área desmatada associada às propriedades com ocorrência de espoliações por *MH* na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024)



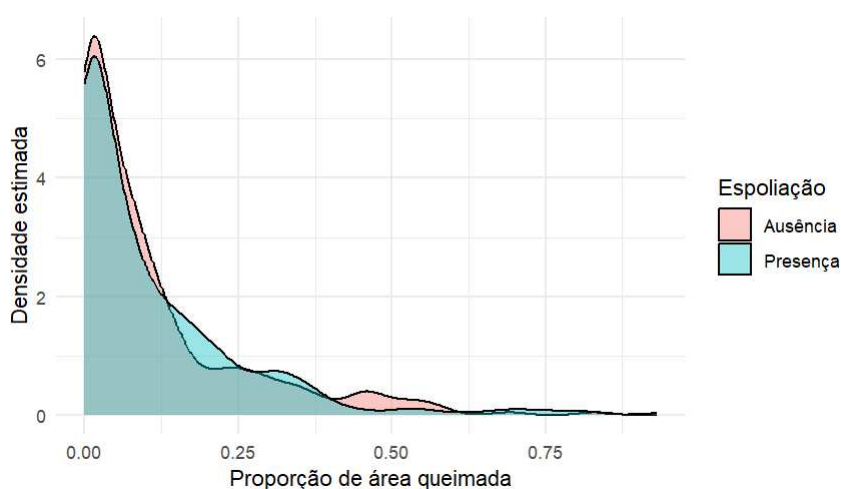
Fonte: MapBiomias (desmatamento); AGED-MA (registros de espoliações); elaboração do autor.  
 Nota: O gráfico compara locais com ocorrência de espoliação (linha azul-turquesa) e locais sem espoliação (linha vermelha). O eixo X representa a fração desmatada (0 = sem desmate; 1 = totalmente desmatado) e o eixo Y a densidade estimada. Observa-se ampla sobreposição entre os grupos sem diferença estatística.

A variável desmatamento não apresentou associação significativa com a ocorrência de espoliações quando analisada isoladamente, possivelmente pelo baixo índice de desmatamento ocorrido no Maranhão, e especialmente na Região dos Guarás.

Entre 2005 e 2024 um total de 802 km<sup>2</sup> foi atingido por queimadas, o que representa 14,26% da área total analisada, índice muito menor que o observado no Estado. Além dos impactos imediatos, como redução da vegetação e alteração da estrutura do habitat, as queimadas podem intensificar os efeitos de borda, reduzir a conectividade entre remanescentes florestais e afetar a dinâmica populacional dos animais silvestres.

A análise por KDE da proporção de área com cicatrizes de incêndios florestais indicou padrão semelhante entre pontos de espoliação e pontos de ausência, ambos os grupos apresentaram concentração predominante em áreas com baixa proporção de queimada (< 10%), sem diferenças significativas de distribuição (Figura 4.7).

Figura 4.7 - Proporção de áreas queimadas associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024)



Fonte: MapBiomas (queimadas); AGED-MA (registros de espoliações); elaboração do autor.  
Nota: Observa-se concentração de ambos os grupos em áreas com baixa proporção de queimada (<10%), sem diferença estatisticamente significativa entre eles.

O teste de Wilcoxon confirmou a ausência de diferença entre os grupos ( $W = 59977$ ,  $p = 0,746$ ). O teste da variável frequência de incêndios também não indicou associação significativa. O resultado sugere que na região dos Guarás os incêndios são menos intensos e frequente e não são eventos importantes na dinâmica das populações de MH.

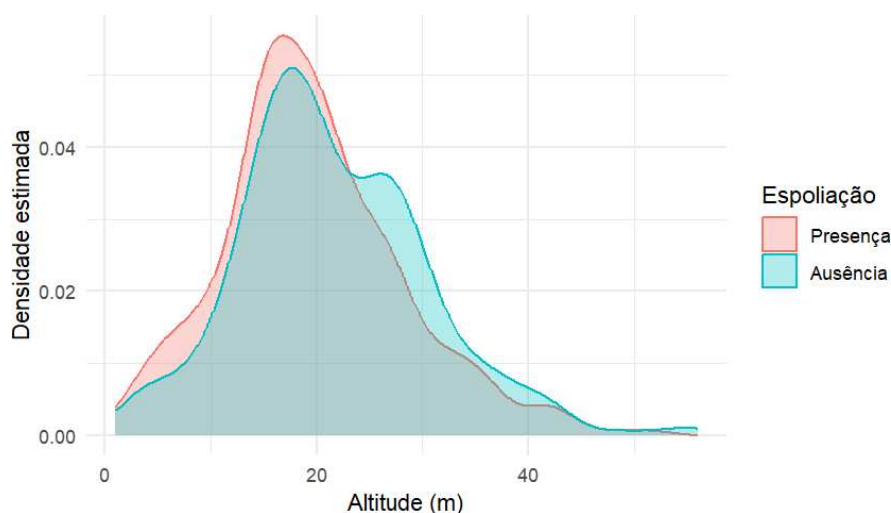
Os indicadores de desmatamento e de queimadas na Região da Floresta dos Guarás estão consistentemente abaixo da média estadual, refletindo a predominância de ecossistemas conservados, como os manguezais e florestas úmidas costeiras. Essa condição de conservação pode atenuar os impactos das atividades antrópicas sobre as colônias de *D. rotundus*, reduzindo sua mobilidade.

Assim, outros componentes estruturais da paisagem, como a topografia e o uso do solo, modulam a acessibilidade dos MH em relação aos herbívoros domésticos. A análise espacial evidenciou que a frequência de ataques de morcegos está associada a áreas antropizadas, sobretudo agropecuárias, enquanto áreas de floresta atuaram como redutoras dos ataques

#### 4.2.5 Associação entre topografia na ocorrência de espoliações

A Região da Floresta dos Guarás, apresenta relevo caracterizado por planícies costeiras muito baixas, recortadas por canais, estuários e extensos manguezais. As altitudes predominam entre o nível do mar e poucas dezenas de metros (Figura 4.8).

Figura 4.8 - Topografia associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024)



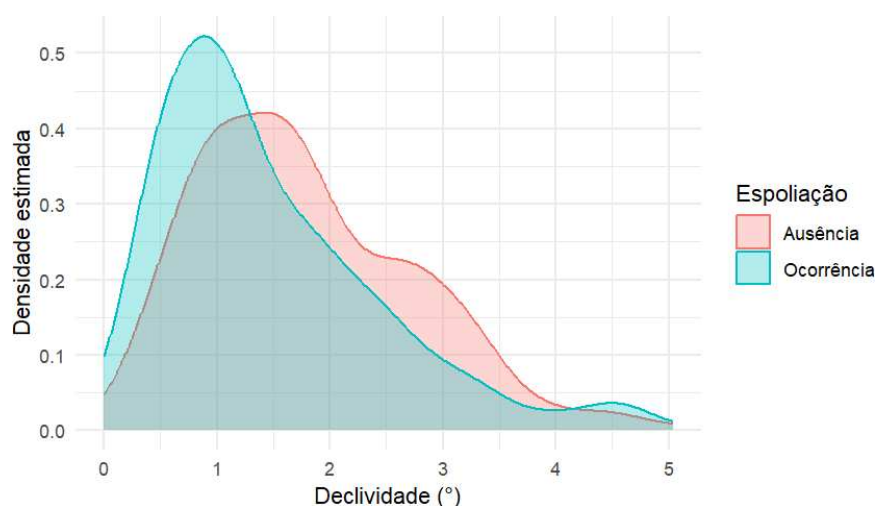
Fonte: TOPODATA/INPE (altimetria); AGED-MA (registros de espoliações); elaboração do autor.  
 Nota: Observa-se que os pontos de ocorrência (área em vermelho) se concentram em altitudes ligeiramente mais baixas, com diferença estatisticamente significativa em relação ao grupo sem espoliação (área em azul).

O teste de Wilcoxon mostrou diferença significativa entre a altitude dos pontos de ocorrência e de ausência ( $W = 50.920$ ,  $p = 0,003$ ). A diferença estimada de localização foi de  $-2,0$  m (IC95%:  $-3,0$  a  $-1,0$ ), indicando que os focos de espoliação por MH ocorreram em média em áreas de menor altitude em comparação ao grupo controle.

Quanto a declividade, a análise dos dados indicaram que a Região dos Guarás apresenta baixa inclinação sendo predominante área de planície o que facilita o voo dos quirópteros. A partir da análise por KDE observou-se que os pontos de presença se concentram em locais mais planos quando comparados com locais de ausência de ataques.

O teste aplicado à variável declividade indicou diferença estatisticamente significativa entre os pontos de presença e ausência de espoliações ( $W = 71.309$ ;  $p < 0,0001$ ). A diferença estimada de localização foi de  $+0,35^\circ$  (IC95%:  $0,22 - 0,48$ ), indicando que as áreas com maior frequência de espoliações tendem a apresentar relevo ligeiramente mais suave em comparação às áreas de ausência (Figuras 4.9).

Figura 4.9 - Declividade associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).



Fonte: TOPODATA/INPE (declividade); AGED-MA (registros de espoliações); elaboração do autor.  
Nota: Observa-se que os locais de espoliações estão em áreas mais planas, enquanto os pontos de ausência apresentam maior dispersão em áreas levemente mais inclinadas.

As espoliações concentraram-se predominantemente em áreas de menor declividade, paisagens menos fragmentadas e maior densidade de rebanhos, padrão compatível com estudos que demonstram preferência de *D. rotundus* por ambientes que minimizam o custo energético do voo e maximizam o retorno alimentar (Gonçalves et al., 2020).

A altitude foi o fator mais determinante no modelo de espoliação na Região da Floresta dos Guarás. As espoliações causadas por morcegos concentraram-se em áreas de baixa altitude, confirmando a associação negativa entre as variáveis. Esse padrão está de acordo com estudos que demonstram a preferência de *D. rotundus* por regiões mais baixas, onde altitudes elevadas e terrenos íngremes atuam como barreiras naturais à propagação do vírus (Zarva et al., 2021).

Esses achados indicam que ambientes de baixa altitude oferecem condições mais favoráveis para a ocorrência espoliações por facilitarem o deslocamento de mamíferos envolvidos na manutenção e transmissão do vírus em áreas rurais. Em contraste, regiões montanhosas e de maior declividade podem funcionar como barreiras ecológicas à propagação da doença. Os pontos de espoliação ocorreram, em média, em áreas ligeiramente mais baixas, reforçando a tendência detectada em nível estadual.

Do ponto de vista ecológico, a preferência por áreas de baixa altitude pode estar associada à maior disponibilidade de abrigos e fontes alimentares, além do menor custo energético de deslocamento. O *D. rotundus* necessita se alimentar em intervalos inferiores a três dias, sob risco de morte por inanição (Neuweiler, 2000).

Assim, a proximidade entre abrigos e presas em áreas baixas reduz o gasto energético e aumenta a eficiência na obtenção de alimento (Rocha et al., 2020). Nesse contexto, modelos de movimentação indicam que trajetórias de menor custo são mais prováveis do que deslocamentos aleatórios em mamíferos terrestres (Dellicour et al., 2016).

Na Região de estudo o relevo é homogêneo, baixo e plano. Nessa escala, mesmo pequenas diferenças de declividade podem se tornar estatisticamente relevantes, pois afetam a locomoção dos morcegos e a presença do gado, isso significa que diante da variabilidade reduzida de covariáveis, a declividade aparece como significativa.

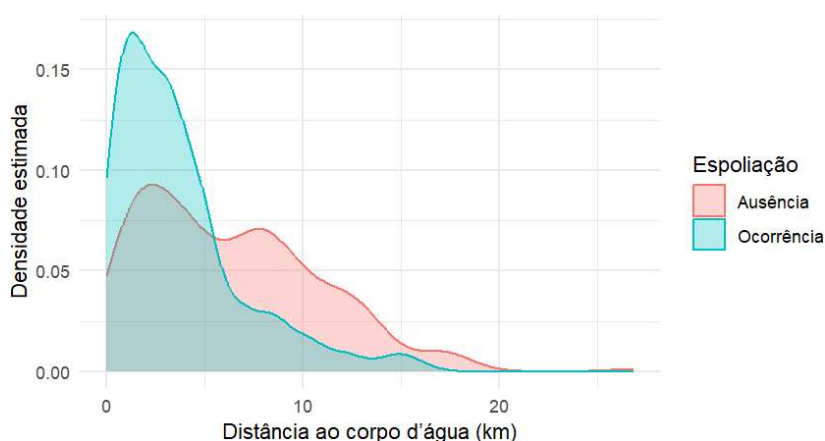
Em áreas de baixa declividade, o deslocamento de animais terrestre infectados tende a ser facilitado, ampliando a dispersão do vírus. Um estudo a Indonésia, indicou que cerca de 80% dos casos de raiva humana ocorreram em áreas planas, o que sugere que o relevo exerce papel indireto na propagação da doença ao favorecer a movimentação de hospedeiros e vetores (Marpaung *et al.*, 2020).

#### 4.2.6 Associação entre proximidade de corpos hídricos e ocorrência de espoliações

Com uma área total de superfície de água de 253.27 km<sup>2</sup> a Região dos Guaras apresenta uma hidrografia extensa com manguezais, estuários e rios costeiros que deságuam diretamente no Atlântico, onde encontram as baías Cabelo de velha, Capim, Cumã, Turiaçu e Lençóis (Maranhão, 2025).

A análise da curva KDE (Figura 4.10) sugere que os registros com maior ocorrência de ataques concentram-se predominantemente nas proximidades de corpos hídricos, enquanto os pontos de ausência de espoliações apresentam uma distribuição espacial mais dispersa.

Figura 4.10 - Distância a corpos d'água associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).



Fonte: IBGE (hidrografia); AGED-MA (registros de espoliações); elaboração do autor.

Nota: houve maior concentração de ocorrências de espoliação próximas a corpos hídricos, em comparação ao grupo de ausência. Distâncias menores sugerem Associação entre disponibilidade hídrica e comportamento dos MH.

O resultado do teste (Wilcoxon:  $W = 80.526$ ,  $p < 0,001$ ) revelou diferença significativa entre pontos de ataques e sem ataques. A mediana das distâncias diferiu em aproximadamente 2,28 km (IC95%: 1,68–2,94 km), indicando que as ocorrências estão consistentemente mais próximas dos corpos d'água do que as ausências. Esses resultados sugerem que áreas mais próximas de massas d'água estão associadas a maior probabilidade de espoliações, possivelmente pela maior disponibilidade de alimento para os MH.

Os resultados indicaram de forma consistente que a proximidade a corpos hídricos está associada à maior probabilidade de espoliações por MH (MH). A proximidade das propriedades com animais acometidos dos corpos hídricos detectados nos testes a partir dos dados levantados nesta pesquisa parece ter relação não somente com o uso direto da água pelo quirópteros, mas também pela presença animal próximo as fontes d'água, aumentando a oferta de hospedeiros e a taxa de encontro com *D. rotundus*, um efeito de agregação do rebanho facilitando o forrageio, especialmente na Região da Floresta dos Guarás rico em rios e lagos.

Os MH consomem 59,5% do seu peso corporal em sangue em 30 minutos, dependendo principalmente do plasma presente nos fluidos. Portanto, apesar de baixa dependência de ingestão direta de água, eles consomem de água livre quando disponível (Busch, 1988). Assim, a associação entre proximidade da água e ataques parece indireta, mediada principalmente por densidade animal e estrutura do habitat.

Esse padrão está alinhado com estudos que apontam que a presença de corpos hídricos pode favorecer tanto a persistência quanto a disseminação do vírus, por facilitar o deslocamento de animais infectados e o uso de áreas comuns (Hayes; Piaggio, 2018). Além disso, cursos d'água têm sido associados à maior disponibilidade de árvores, que são utilizadas como abrigos para morcegos (Kobayashi *et al.*, 2008; Lord 1980).

Por outro lado, em São Paulo, Gomes *et al.*, (2010) não encontraram associação entre a distância de corpos hídrico e frequência de ataques ao gado, ao passo que Tadei (1991) observou que os rios constituem a característica mais relevante na determinação do nicho ecológico desses morcegos. Evidências encontrada nesta pesquisa alinham-se mais a esta segunda perspectiva: o efeito detectado com intensidade relevante (0–5 km como faixa de maior densidade para raiva).

A diferenças entre estudos podem decorrer de escala espacial, da estrutura do rebanho, cobertura vacinal e variáveis ambientais. No Maranhão, os municípios mais atingidos pela raiva estavam localizados próximos áreas úmidas como manguezais, campos inundáveis e Floresta Equatorial Amazônica, onde existe o maior rebanho de herbívoros domésticos no Estado (Arruda *et al.*, 2025) sugerindo uma influência indireta mediada pela densidade animal.

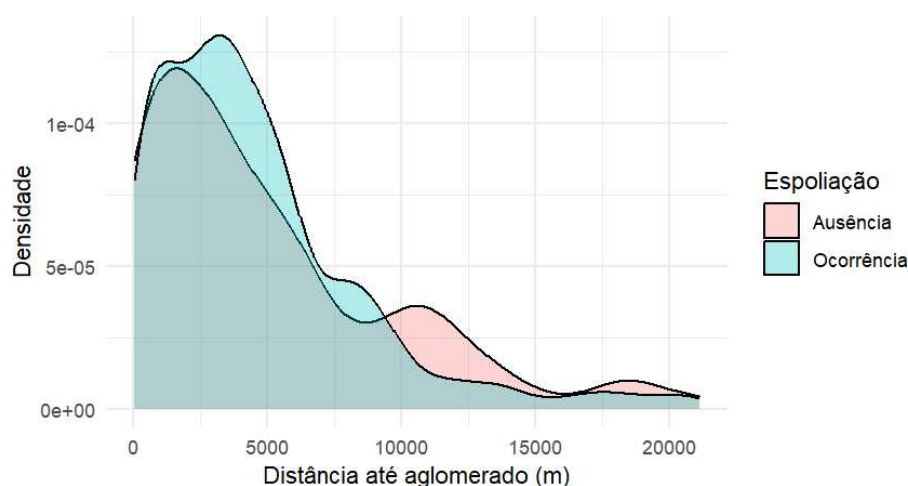
Enfim, a proximidade a corpos d'água, aliada a condições ecológicas, favorece a manutenção da cadeia epidemiológica da raiva mediada por animais de produção e silvestres, sendo, portanto, uma variável relevante em modelos preditivos de espoliações por morcegos.

#### 4.2.7 Associação entre proximidade de aglomerados rurais e espoliações

De acordo com dados do IBGE, na Região dos Guarás existem 45 aglomerados rurais (IBGE, 2025). Analisou-se a associação entre a proximidade desses aglomerados rurais e a frequência de espoliação por MH em herbívoros domésticos.

Observou-se, a partir da análise da curva de densidade estimada de Kernel (KDE), maior concentração de propriedades com e sem espoliações em distâncias inferiores a 5 km dos núcleos de aglomerados rurais, sugerindo reduzida presença de propriedades isoladas na região de estudo. As distribuições foram semelhantes para pontos de ocorrência e de ausência (Figura 4.11).

Figura 4.11 - Distância de aglomerados rurais associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).



Fonte: IBGE (aglomerados rurais); AGED-MA (registros de espoliações); elaboração do autor.

Nota: As curvas mostram que os grupos de ocorrência e ausência apresentaram padrões semelhantes em relação à distância até os aglomerados rurais, sem diferença estatisticamente significativa.

O teste de Wilcoxon confirmou a ausência de diferença significativa entre os grupos ( $W = 59.426$ ,  $p = 0,91$ ), sugerindo que a proximidade de aglomerados rurais não exerce influência diferenciada sobre a presença ou ausência de ataques.

Na Região da Floresta dos Guarás, observa-se que os currais são, em geral, construídos próximos às moradias dos tratadores, com distância média de aproximadamente 70 metros, configurando locais onde os animais pernoitam e permanecem disponíveis para ataques noturnos. Nesse contexto, a concentração espacial de aglomerados rurais mostrou-se indiferente para a ocorrência de espoliações, sugerindo que a presença de *D. rotundus* está mais associada à disponibilidade direta de hospedeiros do que à densidade de assentamentos humanos.

Esse resultado contrasta com achados obtidos no Equador, onde currais mais afastados dos centros povoados apresentaram maior risco de ataques por MH, possivelmente em função da menor interferência humana direta nesses ambientes (Orlando *et al.*, 2019). Por outro lado, estudos conduzidos no Brasil indicam que áreas periurbanas ou próximas a assentamentos humanos podem apresentar maior risco de espoliação, em razão da coexistência de fontes abundantes de alimento e da disponibilidade de abrigos artificiais Schneider *et al.* (2009) e Rocha e Dias (2020).

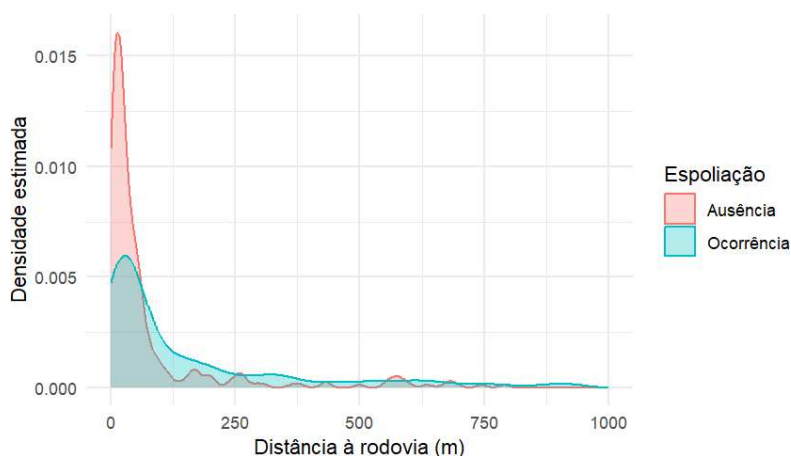
Essas divergências reforçam que a influência dos aglomerados humanos sobre a atividade de *D. rotundus* é contexto-dependente, variando conforme a configuração da paisagem, o tipo de infraestrutura disponível e o grau de perturbação antrópica. A elevada capacidade adaptativa dessa espécie às transformações ecológicas e antropogênicas permite a exploração de diferentes ambientes, desde áreas estritamente rurais até zonas periurbanas, o que pode explicar a ausência de efeito significativo dessa variável no modelo ajustado para a Floresta dos Guarás (Hayes e Piaggio, 2018).

#### 4.2.8 Associação entre rede rodoviária na ocorrência de espoliações

A malha rodoviária da Região da Floresta dos Guarás, integra-se ao sistema estadual e federal de transportes. A extensão total da malha viária na área de estudo é de 2274.08 km incluindo as rodovias federais BR 308 e as rodovias MA 006, 302, MA 303, MA 304 e MA 305 e estradas vicinais não asfaltadas interligando os diversos aglomerados rurais.

A análise por KDE indica que os registros de ausência se concentram predominantemente nas proximidades das rodovias, enquanto os pontos com ocorrência de espoliações apresentam distribuição mais dispersa, estendendo-se a maiores distâncias (Figura 4.12).

Figura 4.12 - Distância das rodovias associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).



Fonte: OpenStreetMap (malha rodoviária); AGED-MA (registros de espoliações); elaboração do autor.  
 Nota: A curva de ocorrência de espoliações está deslocada para a direita, indicando que, em média, as agressões ocorreram em locais mais afastados das rodovias em comparação aos pontos de ausência.

O teste de Wilcoxon indicou diferença altamente significativa entre os grupos ( $W = 40.908$ ;  $p < 0,001$ ), com estimativa de diferença de localização de aproximadamente 28,5 metros (IC95%:  $-42,1$  a  $-15,8$ ). Esses resultados sugerem que áreas mais afastadas da malha viária estão associadas a maior probabilidade de espoliações, possivelmente pela menor influência antrópica.

A variável distância para rodovias apresentou relevância no modelo de previsão de espoliações, indicando que propriedades com histórico de ataques por MH estão, em média, mais distantes da malha rodoviária do que aquelas não afetadas. Esse resultado sugere que, na Região da Floresta dos Guarás, *D. rotundus* tende a evitar áreas próximas às rodovias, possivelmente em função das condições ambientais associadas a esses corredores antrópicos.

Esse achado diverge parcialmente de estudos prévios que identificaram a proximidade de rodovias como fator favorável à presença de MH, em razão da disponibilidade de abrigos artificiais, como bueiros utilizados para drenagem de água (Botto Nuñez et al., 2020) e pontes em áreas rurais (Rocha e Dias, 2020) que podem ser explorados por *D. rotundus*. Tais estruturas têm sido descritas como elementos facilitadores da permanência e dispersão desses animais em paisagens antropizadas.

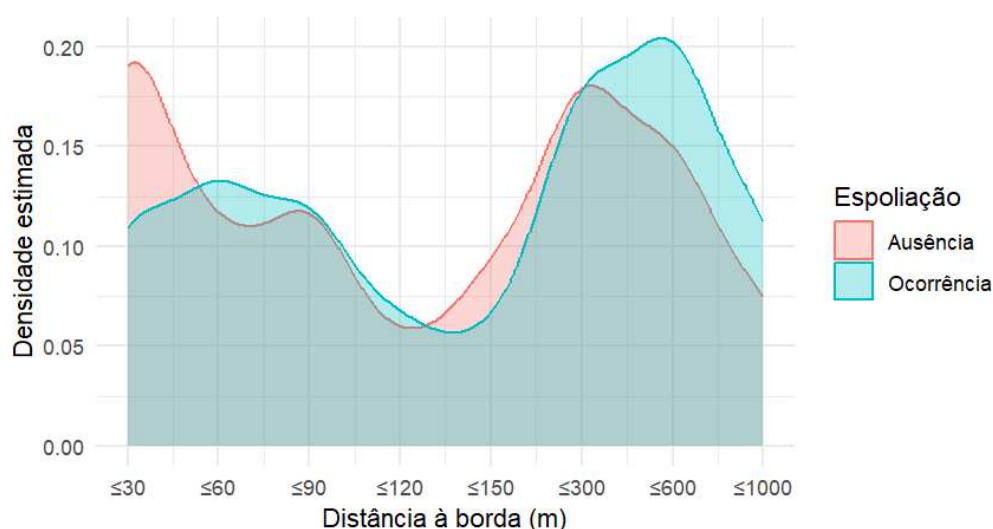
Na Floresta dos Guarás, entretanto, a baixa utilização de abrigos artificiais associados à infraestrutura rodoviária pode estar relacionada à ampla disponibilidade de abrigos naturais, especialmente troncos de árvores ocos, distribuídos de forma contínua na paisagem. Além disso, efeitos dissuasores associados ao tráfego veicular, ao ruído, à iluminação artificial e à perturbação antrópica podem reduzir a atratividade dessas áreas para os MH, limitando o uso de pontes e bueiros como locais de abrigo ou passagem.

#### 4.2.9 Associação entre degradação ambiental e ocorrência de espoliações

A degradação ambiental foi analisada através de duas variáveis: área de borda e tamanho do fragmento de vegetação nativa. As faixas de distância à borda foram definidas com o objetivo de representar um gradiente espacial contínuo do efeito de borda sobre os fragmentos de vegetação. As classes mais próximas à borda ( $\leq 30$  m,  $\leq 60$  m,  $\leq 90$  m e  $\leq 120$  m) correspondem à zona de borda imediata, caracterizada por maior exposição a distúrbios antrópicos, alterações microclimáticas (incidência de luz, vento e temperatura) e maior permeabilidade da matriz adjacente. As faixas intermediárias ( $\leq 150$  m e  $\leq 300$  m) representam uma zona de transição, onde os efeitos de borda tendem a diminuir gradualmente, mas ainda podem influenciar a estrutura e o funcionamento do habitat. Por fim, as classes mais distantes ( $\leq 600$  m e  $\leq 1000$  m) correspondem a áreas mais internas dos fragmentos, nas quais as condições ambientais se aproximam das características do interior florestal, com menor influência direta da borda.

A análise da matriz de borda indicou que a maior proporção da área estudada se encontra nas classes intermediárias. As classes  $\leq 600$  m e  $\leq 1000$  m representaram 21,6% e 14,4% da área total, respectivamente, enquanto a classe de interior do fragmento correspondeu a 20,8%. Em contraste, as áreas muito próximas à borda ( $\leq 30$  m e  $\leq 60$  m) corresponderam a apenas 3,5% e 3,4% (Figura 4.13)

Figura 4.13 – Áreas de bordas de vegetação associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024)



Fontes: Mapbiomas (degradação); AGED-MA (registros de espoliações); elaboração do autor.

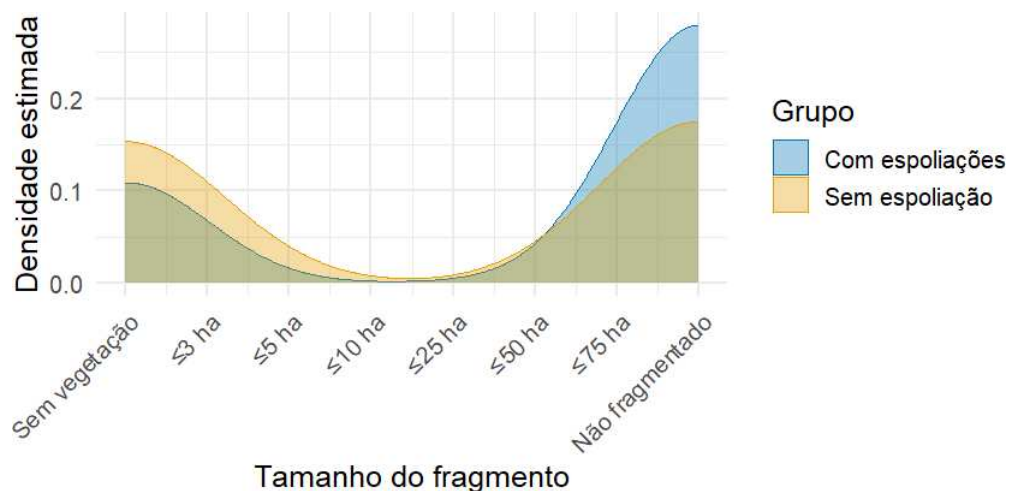
Nota: As KDE representam a distribuição das faixas de distância à borda ( $\leq 30$  m,  $\leq 60$  m,  $\leq 90$  m,  $\leq 120$  m,  $\leq 150$  m,  $\leq 300$  m,  $\leq 600$  m e  $\leq 1000$  m) para pontos com registros de espoliação por morcegos (linha turquesa) e pontos de ausência (linha vermelha). As espoliações predominaram a distância acima de 300 m das bordas.

A análise da KDE mostra que os MH tendem a evitar a faixa mais imediata de borda (0–30 m), mas concentram seus ataques na zona intermediária do fragmento (300–600 m), decaindo novamente à medida que se aproximam do interior profundo ( $> 1$  km). O teste de Wilcoxon mostrou que há diferença estatisticamente significativa na classe de distância à borda entre locais com e sem espoliação de morcegos ( $W = 17.963$ ;  $p = 0,015$ ). Isso reforça a ideia de que existe uma “zona-ótima” de borda — nem na linha direta com o antrópico, nem no cerne do fragmento.

O tamanho do fragmento de vegetação também exerce influência direta sobre a dinâmica ecológica e o uso do habitat por MH. Fragmentos maiores, conforme mapeados pelo MapBiomas, tendem a apresentar maior complexidade estrutural, menor intensidade do efeito de borda e condições microclimáticas mais estáveis, favorecendo a disponibilidade de abrigos naturais e a conectividade com a paisagem circundante. Em contrapartida, fragmentos menores são mais suscetíveis à perturbação antrópica e à predominância de ambientes de borda que apresenta maior adversidade para os animais silvestres.

A análise da curva de distribuição Kernel (KDE) da variável tamanho do fragmento, evidencia que os locais sem espoliação concentram-se em fragmentos menores (pico entre 0–2 hectares), ao passo que os focos de espoliação ocorrem predominantemente em fragmentos maiores (pico em 6–7 hectares) (Figura 4.14).

Figura 4.14 - Fragmentação da vegetação nativa associada às propriedades com ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).



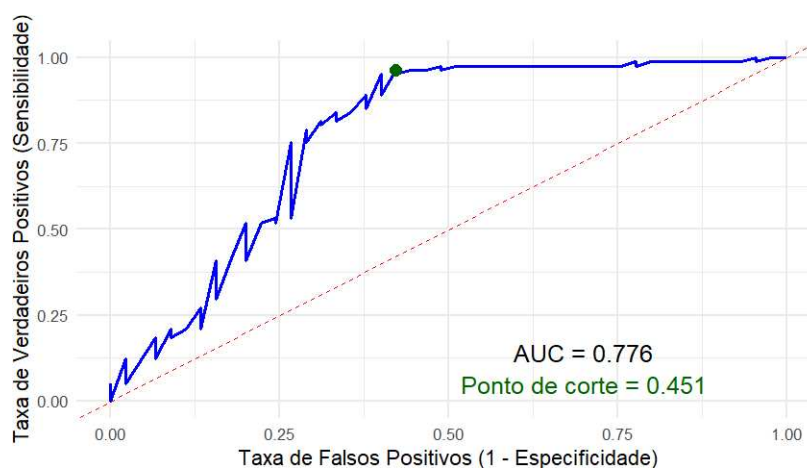
Fonte: MapBiomas (degradação); AGED-MA (registros de espoliações); elaboração do autor.  
 Nota: ausência de espoliação concentram-se em fragmentos menores (classes 0–2), enquanto os pontos de ocorrência estão associados, em maior proporção, a fragmentos grandes e não fragmentados (classes 6–7). Ambientes mais fragmentados foram associados a maior ocorrência de espoliações.

O teste de Wilcoxon confirmou essa diferença de distribuição ( $W = 60\,881$ ;  $p < 0,001$ ), rejeitando a hipótese nula de medianas iguais. As espoliações tendem a ocorrer em áreas menos fragmentadas ou em grandes fragmentos de vegetação, a partir de 25 hectares.

#### 4.2.10 Modelagem preditiva das espoliações

O modelo RF foi ajustado com variáveis ambientais que apresentaram significância estatística no teste de Wilcoxon, quais sejam: altitude, densidade bovina, uso do solo, borda de fragmentos, distância a corpos d'água, distância a rodovias e declividade. O modelo apresentou um bom desempenho, indicando elevada habilidade para diferenciar entre áreas com presença e ausência de espoliações (Figura 4.15).

Figura 4.15 - Curva *receiver operating characteristic* (ROC) do modelo RF para predição da ocorrência de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás



Fonte: GLW/FAO; MapBiomass; IBGE; OpenStreetMap; TOPODATA/INPE. Elaboração do autor.  
 Notas: A curva ROC apresenta inclinação pronunciada no canto superior esquerdo, indicando que o modelo obteve alta taxa de verdadeiros positivos (sensibilidade) com baixa taxa de falsos positivos (especificidade). A linha azul representa a curva obtida a partir dos dados de teste (efeito das variáveis), enquanto a linha tracejada vermelha corresponde à linha de referência (classificação aleatória). AUC elevada indica bom desempenho discriminativo do modelo.

O valor da área sob a curva ROC (AUC) foi de 0,776, confirmando que o modelo apresenta boa capacidade de discriminação entre áreas com e sem ocorrência de focos, entretanto, foi mais eficiente na detecção de áreas de risco (presença) do que na discriminação de áreas sem ocorrência (ausência) (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Métricas de desempenho do modelo Random Forest (RF) para a predição da ocorrência de espolações por *D. rotundus* na Região da Floresta dos Guarás

Métrica	Descrição	Valor obtido
AUC (Área sob a Curva ROC)	Mede o poder discriminativo do modelo, variando de 0,5 (aleatório) a 1 (perfeito)	0,773
Sensibilidade	Proporção de presenças corretamente previstas	0,94
Especificidade	Proporção de ausências corretamente previstas	0,27
TSS	Sensibilidade e especificidade (TSS = Sens + Spec - 1)	0,21
Acurácia	Proporção total de acertos do modelo	0,74
variáveis por nó (mtry)	Número de variáveis testadas a cada divisão das árvores	2
Número de árvores (ntree)	Quantidade de árvores geradas no modelo	1000

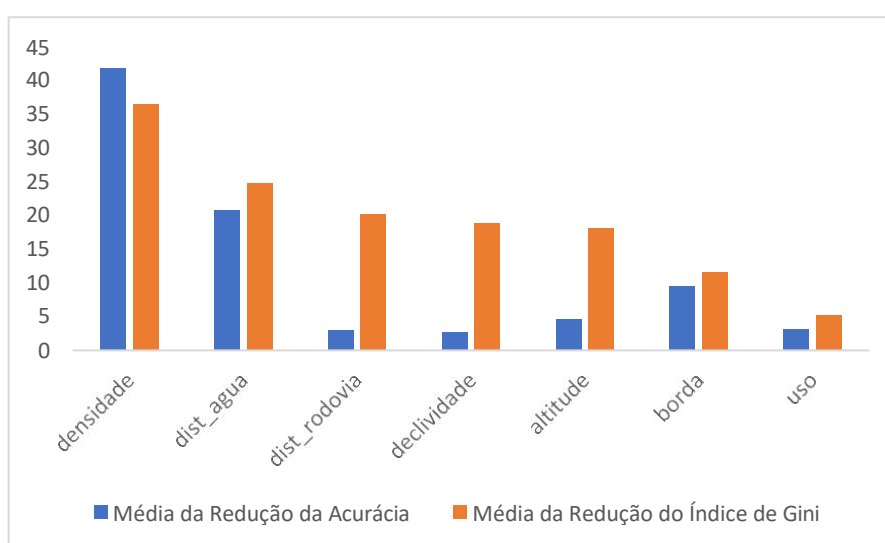
Fonte: Elaboração do autor

Nota: O modelo Random Forest (*RF*) apresentou desempenho satisfatório ( $AUC = 0,77$ ), com alta capacidade de detecção das áreas com ocorrência de espoliações (sensibilidade = 0,94), embora com menor especificidade (0,27), o que indica tendência a superestimar áreas de presença. A estatística True Skill Statistic TSS (0,21) reflete esse desbalanceamento, enquanto a acurácia geral (0,74) demonstra poder preditivo moderado.

A aplicação do ponto de corte ótimo definido pelo índice de Youden (limiar ótimo = 0.451) aumentou substancialmente a capacidade discriminativa do modelo. A acurácia do modelo ajustado ficou em 82,5% (IC95%: 74,8 – 88,7%), indicando boa capacidade preditiva do modelo. A sensibilidade atingiu 96,3%, o que demonstra alta eficiência na detecção de áreas com presença de focos de raiva animal, reduzindo o risco de subestimação de ocorrências. A especificidade foi de 57,8%, mostrando desempenho moderado na identificação correta das áreas sem registros, com incremento no número de falsos positivos.

A análise da importância das variáveis ambientais no modelo de *RF* evidenciou diferenças marcantes no peso relativo de cada preditor para a ocorrência de focos de raiva animal (Figura 4.16). As variáveis densidade animal e distância para corpos hídricos apresentaram os maiores valores de acurácia preditiva, indicando forte contribuição para a identificação de áreas com maior probabilidade de ocorrência da doença.

Figura 4.16 - Importância relativa das variáveis ambientais no modelo *RF* para a predição de espoliações por MH



Fonte: GLW/FAO; MapBiomas; IBGE; OpenStreetMap; TOPODATA/INPE. Elaboração do autor  
 Nota: as variáveis densidade animal e distância a corpos d'água apresentaram maior contribuição para o desempenho do modelo, já as variáveis densidade, distância água e distancia rodovias contribuíram mais para distinção entre os grupos.

Por outro lado, as variáveis distância para rodovias, declividade e altitude exibiram elevados índices de Gini, refletindo alta capacidade discriminatória entre propriedades com e sem histórico de ataques por MH (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Importância das variáveis incluídas no modelo final *RF*, segundo a redução média da acurácia (MDA), a redução média do índice de Gini (MDG) e suas implicações epidemiológicas.

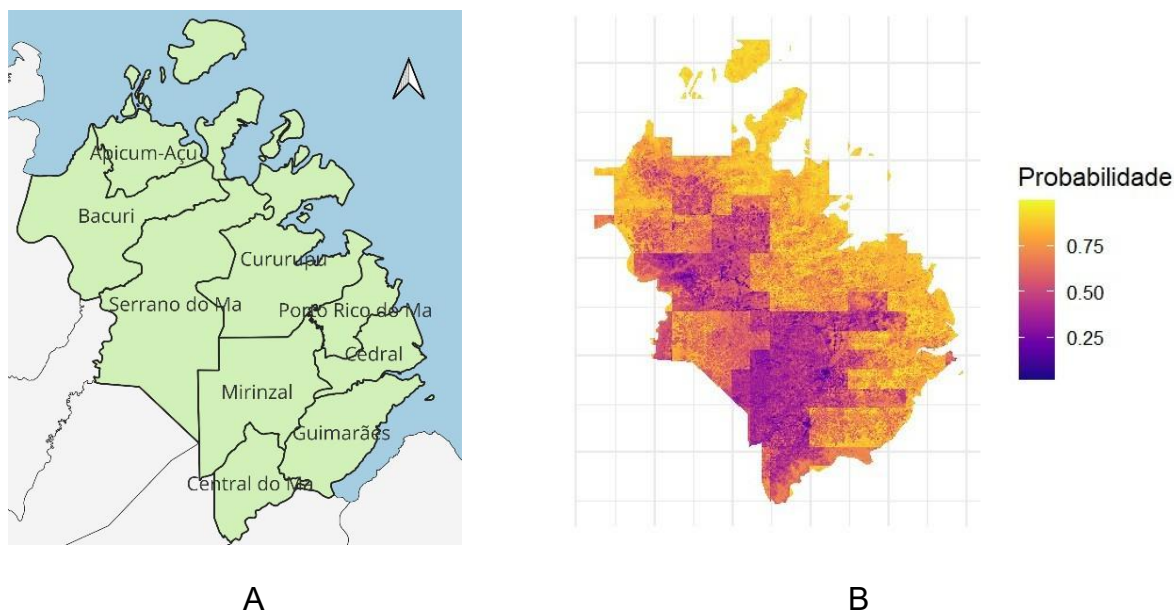
Variável	(MDA)	(MDG)	Implicações epidemiológicas
Densidade	39,86	35,99	Áreas com maior densidade de rebanhos oferecem maior disponibilidade de hospedeiros
Distância Água	19,78	24,33	Rios e lagos facilitam deslocamentos e abrigo dos morcegos e atraem hospedeiros
Distância Rodovia	3,97	19,98	Fragmentação de habitats e movimentação de veículos e iluminação afastam os morcegos
Declividade	4,25	19,32	Áreas mais planas tendem a concentrar maior número de propriedades rurais e rebanhos, facilitam o voo.
Borda	10,62	11,71	Regiões de borda florestal favorecem o contato entre morcegos que utilizam abrigos naturais e rebanhos mantidos em áreas abertas próximas às matas.
Altitude	5,51	18,44	Áreas de baixa altitude na Região da Floresta dos Guarás são mais propícias à pecuária extensiva.
Uso do solo	3,82	5,28	O tipo de uso do solo tem menor efeito, áreas agropecuárias favorecem a presença de hospedeiros

Fonte: GLW/FAO; MapBiomas; IBGE; OpenStreetMap; TOPODATA/INPE.

Em conjunto, os resultados mostram a importância de fatores zootécnicos (densidade animal) e ambientais (proximidade a corpos d'água, rodovias e estrutura da paisagem) como principais determinantes do risco de ocorrência de espoliações por MH.

O mapa de superfície de predição gerado pelo modelo RF (Figura 4.17) evidencia uma heterogeneidade espacial na probabilidade de ocorrência de espoliações por *D. rotundus* na Região da Floresta dos Guarás.

Figura 4.17 - Região da Floresta dos Guarás: (A) divisão municipal e (B) superfície espacial de risco predito de espoliações por MH, estimada por *RF*.



A

B

Fonte: IBGE (base cartográfica); Elaboração do autor

*Nota:* Áreas com valores mais elevados indicam maior probabilidade estimada de ocorrência de espoliações, representando zonas prioritárias para ações de vigilância e controle

O mapa revela a formação de zonas contínuas de maior risco, associadas a áreas com maior adequação ambiental, bem como regiões de menor probabilidade, distribuídas mais distante de manguezais e zona costeira. Esse padrão espacial reflete a interação entre as variáveis preditoras incluídas no modelo, indicando que fatores ambientais e antrópicos atuam de maneira conjunta e complexa na determinação das áreas mais suscetíveis às espoliações, porque ocorre interação entre fatores atrativos e repulsivos de MH na região.

Esse padrão espacial reflete a interação integrada entre as variáveis preditoras incluídas no modelo, indicando que fatores ambientais e antrópicos atuam de forma conjunta e complexa na definição das áreas mais suscetíveis às espoliações, em decorrência da combinação de elementos atrativos e repulsivos que influenciam o comportamento e o uso do espaço pelos MH na região

As maiores probabilidades de ocorrência de espoliações ( $\geq 0,75$ ) concentram-se principalmente mais próxima a áreas costeiras e manguezais (municípios de Guimarães, Cedral, Porto Rico e Cururuçu e Apicum-Açu), abrangendo áreas de baixa altitude, com alta densidade de rebanhos e proximidade de corpos d'água. Essas áreas coincidem com zonas de poucos fragmentos florestais intercalados por áreas abertas, o que favorece o contato entre os MH e os rebanhos domésticos.

Em contraste, as porções sul e oeste (principalmente nos municípios de Mirinzal, Central e Serrano do Maranhão) apresentaram menores probabilidades de ataques ( $< 0,25$ ), associadas a áreas mais elevadas, declividades acentuadas e menor densidade de rebanhos, condições menos propícias à ocorrência de espoliações.

A ausência de previsão em determinadas áreas, especialmente nos municípios de Apicum-Açu e nas ilhas de Cururupu, está relacionada à inexistência de dados em alguns rasters utilizados como preditores, principalmente o de densidade animal. Como o modelo RF depende de informações completas para todas as variáveis ambientais, os pixels com valores ausentes foram automaticamente excluídos da predição, resultando nas lacunas observadas no mapa de risco.

A modelagem por *RF* apresentou elevado desempenho preditivo, indicando que as espoliações por MH são fortemente condicionadas por variáveis ambientais e estruturais.

#### 4.2.11 Efetividade e sustentabilidade das ações de controle populacional de *D. rotundus*

Durante o período avaliado, foram realizadas 475 expedições noturnas para captura de MH. 384 expedições foram bem-sucedidas, representando um percentual de sucesso de 80,84% nas capturas de MH. Essas ações resultaram na captura de um total de 1.174 morcegos, dos quais 458 eram machos (39,0%) e 716 eram fêmeas (61,0%). A média geral foi de aproximadamente 3 morcegos capturados por ação bem-sucedida.

Com base nos registros individuais, verificou-se que foi realizada, em média, de 1,67 eventos de captura por propriedade, resultando em uma média de 5,19 morcegos capturados por propriedade atendida. Cada povoado, em média, recebeu 5,56 eventos de captura, com uma média de 19,57 morcegos capturados por localidade.

A distribuição das ações de captura e do número total de MH capturados apresentou variações entre os municípios atendidos (Tabela 4.5). O município de Cedral concentrou a maior parte das ações de captura realizadas (49,48%), seguido por Cururupu (30,21%), e Apicum Açú (7,07%). Por outro lado, os municípios de Bacuri e Apicum Açú apresentaram os maiores valores médios de capturas por ação, com 6,5 morcegos por evento.

Tabela 4.4 - Intervenções de captura, número de *D. rotundus* capturados e taxa de sucesso, discriminados por município na Região da Floresta dos Guarás.

Município	Nº de intervenções	<i>D. rotundus</i> capturados	%	<i>D. rotundus</i> /captura
Cedral	190	409	34.84	2.15
Cururupu	116	408	34.75	3.52
Apicum açú	27	177	15.08	6.56
Bacuri	11	72	6.13	6.55
Serrano do Ma	23	63	5.37	2.74
Guimarães	9	24	2.04	2.67
Porto rico do Ma	6	17	1.45	2.83
Central do Ma	1	3	0.26	3.0
Mirinzal	1	1	0.09	1.0
<b>totais</b>	<b>384</b>	<b>1174</b>	<b>100</b>	<b>3</b>

Fonte: AGED-MA (dados de capturas); elaboração do autor (2025).

A fim de investigar os fatores associados ao êxito dessas capturas, inicialmente avaliou-se se a quantidade de animais de produção nas propriedades e nos povoados influenciava o sucesso. Foram utilizadas, nos cálculos de correlação, as médias das quantidades de animais encontrados nas propriedades durante as visitas.

Observou-se uma correlação positiva moderada e estatisticamente significativa entre tamanho do rebanho (bovídeos, suínos, equídeos, caprinos, ovinos) e o número de *D. rotundus* capturados (testes de correlação de Spearman  $\rho = 0,606$ ;  $p < 0,001$ ). Esse achado indica uma tendência de maior número de *D. rotundus* capturados em áreas com rebanhos bovinos maiores, sugerindo que a disponibilidade de presas exerce influência direta sobre a abundância local de morcegos.

Ao longo de 20 anos de intervenções baseadas na captura e no tratamento de *D. rotundus*, a análise espacial realizada neste estudo não identificou evidências de alterações significativas na disseminação do vírus da raiva em herbívoros, nem na dinâmica de migração de morcegos para áreas adjacentes.

Sobre esse tema, alguns estudos sugerem que o controle pode reduzir a população local de MH e, conseqüentemente, a transmissão do VR (Sodré et al., 2023; Arellano-Sota, 1988; Santana, 2012). No Maranhão, Arruda et al., (2013) relataram que, no município de Cedral, 190 eventos de captura entre 2005 e 2010 resultaram na remoção de 408 morcegos da espécie *D. rotundus*, levando à ausência de novos ataques após três anos de controle contínuo.

Alguns pesquisadores observaram que a proporção de ataques caiu para menos de 5% após intervenções de controle populacional realizadas em abrigos (Mialhe e Moschini, 2016). De forma semelhante, Gomes, Uieda e Latorre (2006) observaram redução de até 78,2% no tamanho aproximado de colônias de morcegos após o tratamento com anticoagulante. Estudos de modelagem apontam que intervenções em poleiros podem ser mais eficazes do que a vacinação isolada do rebanho (Janoušková et al., 2023).

Outros estudos chegaram a resultados diferentes. Para Woodroffe et al. (2006) e Silva et al. (2021) a redução da frequência de mordeduras, após o uso de pasta anticoagulante, é temporária, e podem estimular a dispersão de morcegos e aumentar a mistura entre colônias, atingindo inclusive espécies não hematófagas.

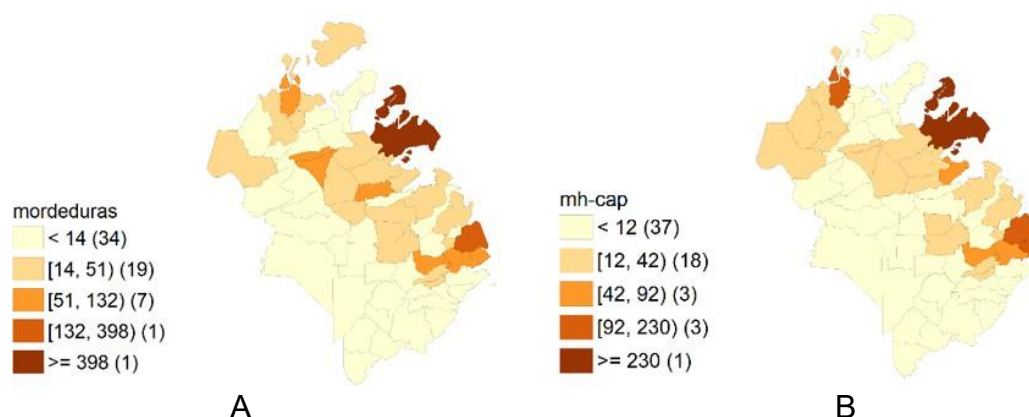
Nesse sentido, foram relatados aumento da introdução de indivíduos na recomposição de colônias com animais possivelmente infectados (Streicker *et al.*, 2012; Blackwood *et al.*, 2013). O espaço vazio (vácuo) deixado pelos morcegos abatidos pode ser ocupado por morcegos imigrantes de outras regiões e com status imunológico desconhecido (Uieda e Andrade, 2020). Estes autores recomendam que as ações de controle populacional de *D. rotundus*, como estratégia de prevenção da raiva, sejam executadas apenas durante surtos de ataques de morcegos e não durante surtos de raiva, pois as ações devem se antecipar aos surgimentos de focos de raiva e não como medida reativas.

Os achados deste estudo indicam que a estratégia adotada foi eficiente no controle da raiva e na redução da frequência de espoliações por MH. Em situações em que o IM se apresentou baixo, recomenda-se aos produtores a aplicação de pasta anticoagulante ao redor das feridas causadas pelos morcegos em animais domésticos.

#### 4.2.12 Relação entre morcegos capturados e densidade de espoliações

Para analisar a distribuição espacial das espoliações por morcegos e sua relação com a ocorrência de raiva animal, foram adotados como unidades geográficas os setores censitários definidos pelo IBGE. Em alguns casos, setores adjacentes foram agrupados com o objetivo de facilitar a interpretação epidemiológica e aprimorar a coerência espacial dos resultados (Figura 4-18A).

Figura 4.18 – Distribuição espacial da frequência de mordeduras (A) e do número de capturas de *D. rotundus* (B) na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024)



Fontes: IBGE (base); AGED-MA (registros de mordeduras e capturas); elaboração do autor  
 Nota: As séries permitem visualizar padrões espaciais da atividade do morcego; houve maior concentração de mordeduras e capturas em áreas próximas a costa.

A análise revelou que as agressões ocorreram predominantemente em áreas próximas a costa e nas ilhas marítimas. Nessas mesmas regiões também foram realizadas maior frequência de intervenções e houve maior número de morcegos capturados e tratados (Figura 4-18B).

O resultado do Índice Bivariado Local de Moran (BiLISA) entre o número de morcegos capturados e a frequência de espoliações apresentou valor global de 0,099, indicando uma associação espacial positiva e de magnitude muito baixa entre as variáveis (Figura 4.19). Isso pode sugerir presença de colônias pequenas e bem distribuídas na Região da Floresta dos Guarás.

Figura 4.19 – Associação espacial local (BiLISA) entre *D. rotundus* capturados e as espoliações em propriedades rurais da Região da Floresta dos Guarás (2005–2024)



Fontes: IBGE (base de setores); AGED-MA (dados de capturas e mordeduras); elaboração do autor.

Notas: Setores com padrão do tipo Alto–Alto (vermelho) indicam que capturas estão associadas a altas incidências de mordeduras; Baixo–Baixo (azul-escuro) refletem baixas capturas associadas a baixas frequências; Baixo–Alto (azul-claro) representam baixas capturas em áreas vizinhas a setores com alta frequência de mordeduras. Setores não significativos (cinza) não apresentaram associação espacial relevante.

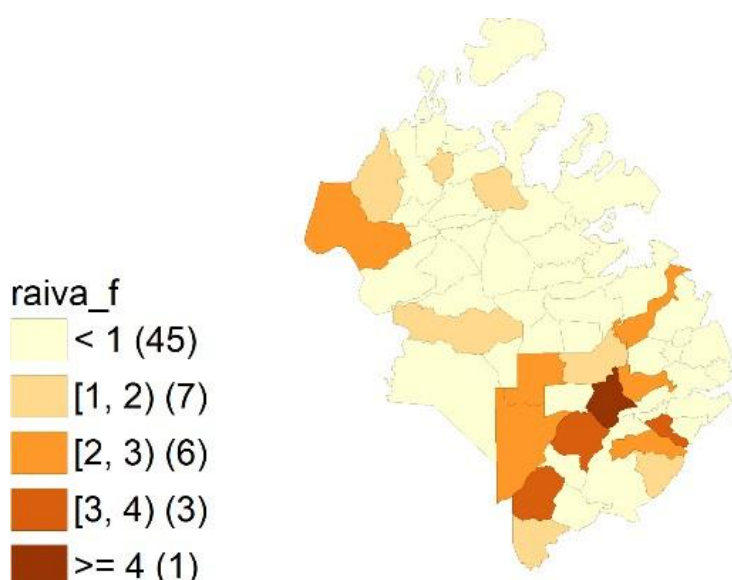
A análise do mapa de agrupamento revelou que, dos 62 setores analisados, 50 (77,4%) não apresentaram associação espacial significativa entre número de morcegos capturados e frequência de mordeduras, indicando ausência de padrão espacial consistente na maior parte do território. Entretanto, foi identificado um setor classificado como alto–Alto (AA), configurando áreas de sobreposição espacial entre elevada ocorrência de espoliações e elevado número de capturas. Foram observados sete setores do tipo Baixo–Baixo (BB), representando áreas onde a baixa ocorrência de espoliações esteve associada a reduzido número de capturas.

Além disso, dois setores foram classificados como Baixo–Alto (BA), evidenciando locais com baixo número de capturas, mas próximos a áreas com altas ocorrências de espoliações. Esse padrão pode indicar subestimação nas capturas locais ou ainda sugerir movimentação e dispersão de indivíduos sobreviventes oriundos de áreas vizinhas submetidas a intervenções de controle.

#### 4.2.13 Efeito das intervenções sobre focos de raiva animal e espoliações

Para avaliar o efeito das intervenções de controle de *D. rotundus* sobre a incidência de raiva animal, os casos confirmados de raiva ocorridos na Região da Floresta dos Guarás ( $n = 32$ ) no período de 2005 a 2024 foram espacialmente distribuídos por setores censitários (Figura 4.20). Essa distribuição foi analisada de forma comparativa com o quantitativo de MH capturados, apresentado na figura 4.18B, permitindo examinar a relação espacial entre a intensidade das ações de controle e a ocorrência dos casos de raiva na região.

Figura 4.20 – Distribuição dos focos de raiva animal por setores na Região da Floresta dos Guarás (2006–2024)

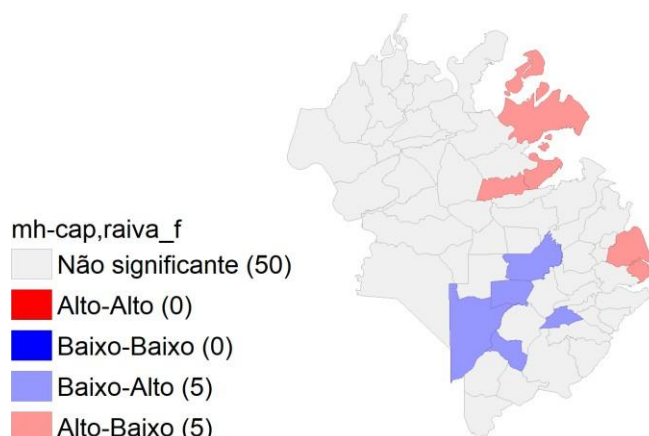


Fonte: IBGE (base cartográfica); AGED-MA (registros de focos de raiva); elaboração do autor.

Notas: A escala setorial permite identificar áreas críticas de transmissão. Observa-se baixa concentração de casos em áreas próximas à faixa costeira, com maior ocorrência no interior da região.

O resultado do teste BiLISA obteve valor global de  $-0,148$ , indicando uma associação espacial negativa e de magnitude baixa entre as variáveis, confirmando menor presença de *D. rotundus* nos locais de maior ocorrência de raiva (Figura 4.21).

Figura 4.21 – Associação espacial local (BiLISA) entre o número de *D. rotundus* capturados e focos de raiva animal na Região da Floresta dos Guarás (2005–2024).



Fontes: AGED-MA (dados de capturas e focos de raiva); elaboração do autor.

Notas: mh-cap = MH capturados; raiva\_f = número de focos de raiva animal. A associação espacial auxilia na compreensão da dinâmica ecológica da transmissão. Setores do tipo Alto–Alto (vermelho) indicam muitos morcegos capturados associados a elevada ocorrência de focos de raiva; Baixo–Baixo (azul-escuro) refletem baixas capturas associadas a baixa incidência da doença; Baixo–Alto (azul-claro) representam áreas com poucas capturas em setores vizinhos a locais com alta ocorrência de focos. BiLISA = -0,148.

O resultado do teste identificou cinco setores classificados como Baixo–Alto (BA), caracterizados por baixo número de capturas de *D. rotundus*, mas localizados adjacentes a áreas com altas ocorrências de raiva. Esse padrão sugere que, nesses locais, outros vetores além do *D. rotundus* podem estar desempenhando papel relevante na manutenção e transmissão do vírus.

Por outro lado, cinco setores apresentaram o padrão Alto–Baixo (AB), caracterizado por elevado número de capturas de morcegos em áreas adjacentes a setores com baixa ocorrência de focos de raiva. Esse padrão pode indicar ausência ou baixa circulação viral nesses locais ou, alternativamente, a existência de condições ambientais e epidemiológicas que limitam a disseminação da doença, mesmo em contextos de alta densidade de morcegos hematófagos.

O padrão AB indica que as ações de captura tiveram caráter predominantemente preventivo, sendo direcionadas à redução do índice de mordeduras e, conseqüentemente, à diminuição do estresse nos herbívoros e dos prejuízos econômicos aos produtores rurais.

Não foram observados setores do tipo Alto–Alto (AA) nem Baixo–Baixo (BB), o que reforça a heterogeneidade espacial da relação entre capturas de MH e focos de raiva na Região da Floresta dos Guarás. A predominância de setores não significativos (n = 50) indica que, na maior região da área analisada, não houve correlação espacial robusta entre essas duas variáveis, possivelmente devido à ausência de casos de raiva observada na maioria dos setores.

A análise espacial integrada entre capturas de *D. rotundus*, espoliações e focos de raiva revelaram padrões de sobreposição parcial, sugerindo que a intensidade de ataques não é um indicador direto da ocorrência imediata da doença. Esse resultado sustenta a hipótese de que a raiva pode persistir em populações de morcegos, com surtos em herbívoros ocorrendo de forma episódica e dependente de processos espaciais mais amplos (Blackwood et al., 2013; Meza et al., 2022).

De maneira geral, a Região da Floresta dos Guarás apresentou alta incidência de raiva e elevado número de notificações de ataques do MH. A tendência de declínio da incidência de focos coincidindo com a intensificação das capturas e do uso de pasta anticoagulante a partir de 2005, seguida de redução da frequência de ataques, indica a eficácia do programa de controle.

Os resultados da pesquisa mostraram que a intensidade de espoliações por MH na Região da Floresta dos Guarás obteve correlação positiva com a densidade animal. Tal achado confirma que a manutenção e o crescimento das colônias de *D. rotundus* estão fortemente condicionados à maior disponibilidade de alimento proporcionada pelo rebanho.

Esses resultados são consistentes com observações de Becker *et al.*, (2018) segundo os quais o aumento da densidade pecuária tende a favorecer a expansão das populações desses morcegos, o que pode levar, à elevação do risco de transmissão da raiva. Além disso, a densidade de rebanhos pode influenciar a probabilidade de surtos serem detectados ou relatados (Bohmann et al., 2018).

Nesse contexto, a transmissão da raiva dependente da densidade configura-se como uma métrica relevante para a antecipação da frequência de surtos em animais de produção. Embora o estudo de Arruda et al. (2025) não tenha identificado associação entre densidade animal e incidência da raiva no Maranhão, na Região da Floresta dos Guarás essas variáveis apresentaram relação positiva, indicando um padrão epidemiológico distinto em escala local, possivelmente devido a menor densidade animal em comparação a média estadual.

Nesse sentido, Benavides et al., (2017) destacam que, em áreas de maior concentração de gado, a cobertura vacinal tende a ser mais alta, sobretudo em resposta a surtos. Observações de Delpietro, Marchevsky e Simonetti (1992), que indicam que a expansão espacial do vírus da raiva ocorre de forma mais lenta em regiões com reduzida densidade de gado, em decorrência do isolamento epidemiológico promovido por populações menores ou menos conectadas de *Desmodus rotundus*.

Por outro lado, Meza et al., (2022) observaram um efeito negativo da densidade pecuária sobre a soro prevalência, em contradição a hipótese de aumento da transmissão, possivelmente devido ao manejo sanitário e de medidas de imunização implementadas em regiões de maior risco.

Do ponto de vista teórico, se a transmissão da raiva não aumenta proporcionalmente à densidade do hospedeiro, não se deve esperar a existência de limiares populacionais para a invasão viral. Isso implica que surtos em morcegos – e a subsequente transmissão para animais de criação – podem ser menos previsíveis e depender fortemente de fatores estocásticos, como movimentos aleatórios de morcegos infectados ou falhas pontuais na cobertura vacinal (Lloyd-Smith et al., 2005).

Com relação à densidade de *D. rotundus*, para Blackwood et al., (2013) embora a transmissão possa ser influenciada pela densidade local de morcegos, a incidência e a propagação do vírus resultam, sobretudo, de processos que atuam em escalas de paisagem amplas, menos dependentes da abundância local desses quirópteros.

Quanto à relação entre a frequência de espoliações por morcegos e a incidência de focos de raiva em herbívoros, esperava-se que, na Região da Floresta dos Guarás, os focos de raiva estivessem mais próximos das propriedades com histórico de espoliações por morcegos em comparação àquelas sem ocorrência, considerando que a mordedura de morcegos infectados constitui o principal mecanismo de transmissão do vírus da raiva aos herbívoros.

Porém, a análise espacial entre estas variáveis resultaram em valores globais negativos (BiLISA = -0,148), indicando associação inversa, ainda que de baixa magnitude. De fato, a maioria dos casos foi registrada em setores com poucas capturas. A presença de setores classificados como Baixo-Alto (BA) levantam a hipótese que outros hospedeiros silvestres podem ter papel relevante na manutenção do vírus na Região da Floresta dos Guarás.

Neste contexto, ainda que o *D. rotundus* seja principal reservatório e transmissor da raiva aos herbívoros (Kobayashi et al., 2008; Mialhe; Moschini, 2016; Velasco-Villa et al., 2006), no Brasil, 91% dos casos de raiva em animais silvestres não foram diagnosticados nessa espécie (Brasil, 2025). No Maranhão, apenas 2 de 213 amostras de morcegos testadas confirmaram positividade para o vírus (Silva et al., 2019).

Além dos morcegos, outros animais silvestres têm papel relevante na manutenção e transmissão da raiva, como canídeos (*Cerdocyon thous*) (Antunes et al., 2018); e saguis (*Callithrix jacchus*) (Campos et al., 2020; Kotait et al., 2019); mão-pelada (*Procyon cancrivorus*), a cutia-de-Azara (*Dasyprocta azarae*), os guaxinins (Rocha et al., 2017); os quatis (*Nasua narica*) (Puebla-Rodríguez et al., 2023) e *Nasua nasua* (Araujo et al., 2019) e gambás (*Mephitis mephitis*) (Johnson et al., 2025);

Ainda deve-se considerar que na região dos Guarás, entre 2018 a 2021, foi identificada a variante antigênica - Agv 3 em quatro amostra de material de bovinos (Mesquita, 2023). Essa variante é conhecida como do morcego hematófago (*D. rotundus*) mas também pode ser isolada de morcegos frugívoros da espécie *Artibeus sp* (Scheffer et al., 2014).

A ausência de avanço do vírus da raiva para áreas com maior frequência de espoliações pode estar associada a características ambientais da Região da Floresta dos Guarás. Os mapas de associação espacial local (BiLISA) identificaram setores com elevada frequência de ataques e baixa incidência de raiva. Nessas áreas, observou-se maior preservação ambiental, caracterizada por baixa fragmentação da vegetação nativa e predomínio de formações florestais, sugerindo que a integridade do habitat pode estar associada à limitação da progressão espacial do vírus da raiva.

Este cenário reforça a ideia de que paisagens contínuas e bem conservadas tendem a reduzir a interação entre MH e animais domésticos, limitando o contato e, conseqüentemente, a transmissão viral. A fragmentação, ao contrário, pode aumentar a conectividade das colônias de MH, promovendo o compartilhamento de áreas de alimentação e a persistência espacial do VR dentro das populações (Nuñez et al., 2020). As evidências indicam que a preservação de ecossistemas intactos e sua biodiversidade endêmica deve, em geral, reduzir a prevalência de doenças infecciosas (Keesing et al., 2010).

A dissociação parcial entre a ocorrência da doença e a intensidade das espoliações reforça a complexidade do sistema epidemiológico envolvendo *D. rotundus*, seus hospedeiros domésticos e o ambiente, conforme já destacado em estudos que apontam a persistência viral como um fenômeno espacialmente estruturado e dependente da conectividade entre colônias (Streicker et al., 2012; Blackwood et al., 2013).

#### 4.2.14 Desempenho do modelo preditivo de espoliações

O modelo RF é um método de aprendizado de máquina robusto, muito utilizado devido à sua capacidade de fornecer previsões precisas para conjuntos de dados grandes e complexos (Little; Rosenberg; Arsham, 2022). O uso de modelos preditivos baseados em RF, com alta sensibilidade para identificar áreas de risco, representa um avanço metodológico inédito no estudo da epidemiologia da raiva e na distribuição de MH.

O modelo *RF* aplicado para prever áreas de risco de espoliações por MH apresentou bom desempenho preditivo, com AUC de 0,776 e acurácia geral de 82,5%. A alta sensibilidade (96,3%) indica que o modelo foi particularmente eficaz na identificação de áreas com ocorrência confirmada, o que é crucial para a vigilância e controle da raiva. Por outro lado, a especificidade moderada (57,8%) revela certa limitação na identificação de áreas sem espoliações, o que pode resultar em falsos positivos — efeito esperado em modelos mais sensíveis.

Entre as variáveis ambientais analisadas, a densidade bovina se destacou como o principal fator associado à presença de espoliações, tanto pela Redução Média da Acurácia (MDA) quanto pela Redução do Índice de Gini (MDG). Esse resultado é coerente com estudos anteriores que demonstram que rebanhos numerosos oferecem maior disponibilidade de alimento para MH, favorecendo a permanência e expansão de suas colônias (Delpietro et al., 1992; Streicker et al., 2012).

A distância para corpos d'água também foi uma variável fortemente associada ao risco de espoliações, indicando que rios, lagos e áreas alagadas funcionam como corredores ecológicos para deslocamento dos morcegos e também como pontos de atração para rebanhos. Esse padrão foi observado por Escobar et al., (2015) que destacam a importância de elementos da paisagem na distribuição de hospedeiros e vetores.

Variáveis como declividade e altitude mostraram influência indireta, sugerindo que áreas mais planas e de baixa altitude concentram mais rebanhos e estruturas propícias ao pouso e abrigo dos morcegos, resultado também apontado por Orlando et al., (2019) em áreas de pecuária extensiva.

A presença de bordas florestais foi outro fator relevante, reforçando a ideia de que fragmentos de vegetação nativa próximos a áreas abertas favorecem o contato entre morcegos silvestres e animais de produção. Essa interface entre ambiente natural e antrópico é um ponto crítico para o risco de transmissão da raiva, como discutido por Becker, Seifert e Carlson, (2020).

Embora o uso do solo tenha apresentado menor peso relativo no modelo, ele ainda indicou tendência de maior risco em áreas agropecuárias, onde há menor cobertura vegetal e maior presença de rebanhos — ambiente preferencial para alimentação dos MH.

O padrão espacial identificado reflete o efeito combinado de variáveis ambientais e antrópicas, especialmente a densidade de rebanhos, a disponibilidade de recursos hídricos e a malha viária, confirmando a influência dessas variáveis na modelagem preditiva do risco de interação entre MH e herbívoros domésticos. A combinação desses fatores aponta para a necessidade de estratégias integradas de controle, que considerem não apenas a presença dos morcegos, mas também a estrutura da paisagem, o manejo dos rebanhos e a ocupação do território.

#### 4.2.15 Vantagens e limitações do modelo *RF*

Uma das principais vantagens do modelo *RF* é sua capacidade de lidar com um grande número de variáveis de entrada simultaneamente, sem a necessidade de exclusão prévia de preditores, mesmo na presença de correlação entre eles. A acurácia do modelo tende a aumentar à medida que cresce a diversidade entre as árvores individuais e se reduzem as correlações entre os classificadores básicos que compõem o conjunto, característica inerente ao processo de bagging e à seleção aleatória de variáveis em cada divisão (Salman; Kalakech; Steiti, 2024).

Essa flexibilidade torna o *RF* particularmente adequado para o processamento de grandes volumes de dados e para a modelagem de sistemas complexos. Contudo, esse benefício vem acompanhado de maior demanda computacional, uma vez que cada árvore de decisão é construída e avaliada de forma independente, exigindo maior capacidade de processamento e armazenamento.

Entre as principais limitações do modelo *RF* destaca-se o grande número de árvores que compõem o conjunto. Embora o treinamento do modelo seja, em geral, computacionalmente eficiente, o tempo de previsão pode ser significativamente mais elevado, especialmente quando se utiliza um número elevado de árvores (Salman; Kalakech; Steiti, 2024).

Outra limitação relevante refere-se à menor interpretabilidade do modelo. A análise conjunta de múltiplas árvores altamente aleatorizadas torna a compreensão do impacto individual de cada variável consideravelmente mais complexa do que em modelos baseados em uma única árvore de decisão, o que reduz a transparência dos mecanismos internos do modelo (Biau, 2012; Kavlakoglu, 2021).

Além disso, conforme destacado por Little et al. (2022), o *RF* apresenta desafios relacionados à definição do ponto ótimo de parada das árvores e ao tamanho dos nós, o que pode comprometer o equilíbrio entre complexidade e desempenho. O modelo também é sensível à escolha de hiperparâmetros, como o número de variáveis consideradas em cada divisão e o tamanho mínimo dos nós, priorizando a redução do erro preditivo em detrimento da interpretabilidade estatística, o que pode introduzir vies e incertezas nas inferências (Little; Rosenberg; Arsham, 2022).

Neste estudo, variáveis climáticas e sazonais, como precipitação, temperatura e umidade do ar, não foram incorporadas aos modelos em razão da escala espacial reduzida da área de estudo, na qual se espera baixa variabilidade desses parâmetros. Entretanto, a literatura científica indica que tais fatores exercem papel determinante tanto na ocupação de habitats pelos morcegos quanto na dinâmica populacional de *D. rotundus*, influenciando diretamente o risco de transmissão do VR (Streicker et al., 2012; Meza et al., 2022).

Embora apresente limitações, a metodologia empregada é consolidada e amplamente testada em estudos epidemiológicos, combinando *RF* e análise espacial, abordagens reconhecidas por sua capacidade de capturar relações complexas em sistemas zoonóticos, incluindo a raiva transmitida por morcegos (Cutler et al., 2007; Hayman et al., 2013)

## CAPÍTULO V

### 5. MANUAL PRÁTICO DE CAPTURA DE *Desmodus rotundus* EM CURRAIS

DOI: 10.5281/zenodo.17344473

Publicado em 20 de agosto de 2025

#### Manual prático de captura de morcegos hematófagos *Desmodus rotundus* em currais e estábulos



José Wendel Araújo Soares  
Maria do Socorro Costa Oliveira

São Luís, 2025

Soares, José Wendel Araújo; Costa Oliveira, Maria do Socorro.

Manual de captura de morcegos hematófagos *Desmodus rotundus* em currais e estábulos / José Wendel Araújo Soares e Maria do Socorro Costa Oliveira. --2. ed.- - São Luís: [s.n.], 2025. 19 p.

ISBN nº. 978-65-01-42907-6

1. *D. rotundus*. 2. Saúde animal. 3. Controle da raiva. 4. Animais silvestres

CDD - 636.0896

## **Apresentação**

Este manual tem como objetivo orientar os profissionais envolvidos no manejo e controle de MH da espécie *Desmodus rotundus*, principal responsável pela transmissão da raiva em populações de herbívoros, junto a sua fonte de alimentação. Este método é recomendado pelo Ministério de Agricultura e Pecuária. A padronização dos procedimentos é fundamental para garantir a segurança dos operadores, a eficácia das medidas de controle e a minimização dos impactos ecológicos.

### **Objetivos**

- Contribuir para a redução da prevalência da raiva nos herbívoros domésticos, integrando as ações de captura de morcegos ao Programa Nacional de Controle da Raiva dos Herbívoros (PNCRH).
- Apresentar informações sobre a identificação do *D. rotundus*
- Descrever os métodos controle populacional e técnicas de captura.
- Apresentar diretrizes para a montagem de redes e demais equipamentos, bem como para o manejo e condicionamento dos animais capturados.
- Orientar sobre uso de EPI e treinamento contínuo da equipe de captura

### **Espécies de morcegos**

Os MH pertencem à ordem Chiroptera, à família Phyllostomidae e à subfamília Desmodontinae. Nessa subfamília, encontram-se três gêneros, cada um representado por uma espécie: *Diaemus youngi*; *Diphylla ecaudata*, que se alimenta predominantemente do sangue de aves, e *D. rotundus*, com preferência por se alimentar do sangue de mamíferos.

### **Características anatômicas do *Desmodus rotundus***

O *D. rotundus* é um morcego de porte médio, pesando entre 25 e 40 g, com envergadura de 35–40 cm e pelagem marrom-acinzentada, mais clara na região ventral. Adaptado ao hematofagismo, possui dentes afiados, língua sulcada e saliva anticoagulante, além de asas curtas e membros fortes que permitem locomoção terrestre. Seu sistema termorreceptor facial detecta calor de vasos sanguíneos superficiais, facilitando a escolha do ponto de mordida.

Figura 5.1 - Fotografia de *D. rotundus*



**Fonte:** Uwe Schmidt [CC BY-SA 4.0];  
**Nota:** Pernas e antebraços longos.

Figura 5.2 - Ilustração frontal da cabeça de *D. rotundus*



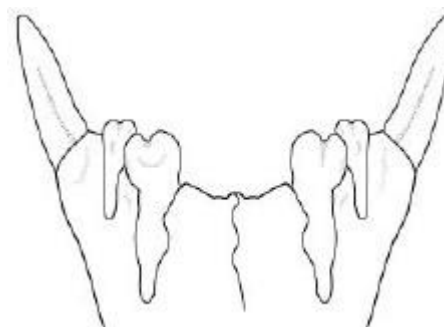
**Fonte:** Diaz et al., 2021;  
**Nota:** Apêndice nasal reduzido e lábio inferior sulcado.

Figura 5.3 - Ilustração do da asa e dedo do *D. rotundus*



**Fonte:** Diaz et al., 2021.  
**Nota:** Polegar longo facilita fixação no hospedeiro

Figura 5.4 - Ilustração da mandíbula e dentes inferiores do *D. rotundus*



**Fonte:** Diaz et al., 2021.  
**Nota:** Dentes incisivos inferiores bilobulados em duas fileiras

### **Alimentação, comportamento e ecologia do morcego hematófago**

O *D. rotundus* é espécie exclusivamente hematófaga e preferem se alimentar do sangue de herbívoros. A abundância da população está diretamente relacionada à disponibilidade de fontes alimentares, principalmente em áreas com elevada densidade de rebanhos. O *D. rotundus* habita locais variados, desde ocos de árvores, cavernas e túneis, casas abandonadas, cisternas, pontes etc.

São altamente sociais, vivendo em colônias que podem reunir dezenas a centenas de indivíduos, com predominância de fêmeas em grupos estáveis. A comunicação ocorre por meio de vocalizações específicas e do *grooming* – o comportamento de autocuidado e de cuidado mútuo, no qual os animais se limpam e removem sujeiras e parasitas –, o que contribui para o fortalecimento dos laços sociais dentro da colônia. Além disso, o compartilhamento de alimento entre os indivíduos sugere a existência de mecanismos de reciprocidade.

Os morcegos realizam voos noturnos para se alimentar e buscar abrigos. Embora possam voar até 10 km, normalmente preferem trajetos de 2 a 3 km, o que aumenta sua prevalência em regiões próximas a áreas com rebanhos. A influência da luminosidade lunar é variável; embora a luz intensa da lua cheia possa reduzir levemente a atividade, outros fatores ambientais também desempenham papel no comportamento de voo e forragem.

Embora sejam conhecidos como transmissores de raiva, esses morcegos desempenham funções ecológicas importantes. Alterações ambientais, como desmatamento, expansão agrícola e urbanização, podem modificar os padrões de forrageamento e a estrutura dos abrigos, afetando a distribuição e a densidade das colônias de *D. rotundus*.

### **Métodos de controle populacional de *D. rotundus***

Ainda que o VR seja transmitido por outras espécies de morcegos, os métodos de controle de MH preconizados no PNCRH são voltados exclusivamente para a espécie *D. rotundus*. Os métodos são selecionados de acordo com as condições ambientais e a densidade populacional dos morcegos.

#### **Controle Direto**

Utilização de redes de neblina e armadilhas manuais para a captura individual dos morcegos em áreas estratégicas, como currais e abrigos. Após a captura deve ser realizada a aplicação tópica (aproximadamente dois gramas do produto anticoagulante) no dorso dos animais.

### **Controle Indireto**

Consiste na aplicação de produtos vampiricidas ao redor das lesões em animais, induzindo a ingestão do produto pelos morcegos durante a alimentação. Esta operação é realizada pelos tratadores dos animais afetados sob orientação do médico veterinário. Permite o controle sem a necessidade de captura física direta. Exige monitoramento contínuo dos locais de aplicação e pode não atingir toda a população.

Figura 5.5 - Fotografia de aplicação de pasta anticoagulante em herbívoro



**Fonte:** Rogério S. Piccinini. In: Brasil (2022).

**Nota:** a pomada anticoagulante usada ao redor das feridas dos animais mais agredido

A escolha do método (direto ou indireto) deve considerar a situação epidemiológica, a localização dos focos e a necessidade de evitar a contaminação de animais não-alvo. A aplicação direta nos morcegos deve ser realizada por profissionais qualificados sob supervisão de médico veterinário.

São utilizadas substâncias anticoagulantes (warfarina), que provocam hemorragias internas quando ingeridas. As pomadas devem ser armazenadas em condições adequadas sem exposição ao calor excessivo.

## **Organização e planejamento das capturas**

Realizar um levantamento das áreas com alta incidência de ataques de morcegos e visitar as propriedades com histórico de espoliações recentes. Nessa ocasião, identificar existência de abrigos dos morcegos.

## **Agendamento das capturas**

Realizar contato com os produtores rurais e solicitar que os animais sejam recolhidos aos currais e estábulos algumas noites antes das capturas. Isso é importante para que os animais estejam mais habituados e tranquilos atraindo os morcegos para o local. Agendar a data da captura com antecedência, evitando períodos com previsão de chuvas intensas e noites de lua cheia.

## **Índice de mordeduras e monitoramento**

O registro das ocorrências de espoliações e a análise epidemiológica das mordeduras em herbívoros servem como indicadores indiretos da densidade populacional dos morcegos, permitindo o ajuste das estratégias de controle.

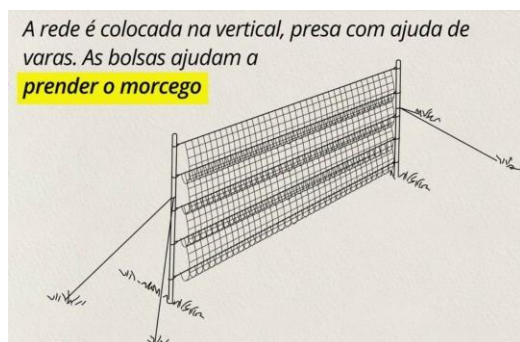
## **Equipamentos e procedimentos operacionais**

### **Redes de neblina**

Utilizadas para a captura de morcegos, as redes de neblina (com malha 20x20 mm) tem tamanho variados de 3 a 12 metros de comprimento e 2 metros de altura. Elas devem ser estrategicamente posicionadas externamente nos currais ou estábulos, ou onde há maior atividade dos MH.

As hastes, confeccionadas em bambu, madeira, metal ou plástico reforçado, servem para sustentar as redes. Elas devem ser ajustáveis conforme a topografia e garantir a extensão necessária para cobrir as áreas de interesse. Pode se usar barbantes e pequenas estacas para regular a tensão longitudinal das redes, garantindo que fique bem distendidas e forme bolsas ao longo do comprimento, onde os morcegos ficarão presos.

Figura 5.6 - Ilustração de armação da rede de neblina



Fonte: Cemafauna/Univasf, 2019

Nota: uso de haste e barbante para manter a rede estendida e firme

Figura 5.7 - Ilustração da rede de neblina e haste de sustentação



Fonte: Cemafauna/Univasf, 2019;

Nota: mostra as bolsas onde os morcegos são enroscados

### Iluminação noturna – uso de lanternas

Lanternas LED são indispensáveis para iluminar as áreas de montagem e contenção, garantindo visibilidade adequada sem prejudicar os animais. É importante que haja pilhas ou baterias reservas. Essenciais durante as operações noturnas, especialmente na retirada dos morcegos da rede, pois permitem que os operadores mantenham as mãos livres para manipulação segura.

### Preparação do local e armação das redes

A montagem das redes deve ocorrer em ambientes limpos, sem obstáculos e detritos que possam se prender na rede ou interferir na estabilidade da estrutura. Realizar uma varredura do local onde as redes serão instaladas. Plantas pequenas e galhos devem ser retirados para evitar que se prendem as malhas.

A montagem das redes ao redor do curral deve ser concluída antes do anoitecer. Se as redes forem instaladas antes da entrada dos animais, elas devem permanecer fechadas e levantadas, evitando a captura de pássaros e permitindo que os animais passem por baixo. As redes deverão ficar altura de 10 a 15 cm do solo.

Figura 5.8 - Fotografia de curral de bovinos e fixação de hastes para armação de rede de neblina



Fonte: J.W.A. Soares e J.J. Vasques

Nota: Os animais não devem permanecer soltos próximos as redes armadas

Garantir que não haja outros animais soltos que possam danificar a rede armada ou interferir no manejo dos morcegos. Animais livres devem ser presos ou afastados da área de armação antes rebaixamento das redes. Quando danificadas, as redes não poderão ser substituídas durante a noite, mas pequenos reparos poderão ser realizados pela equipe de operadores.

### **Procedimentos durante a captura**

Durante a operação, a equipe deve manter silêncio e posicionar-se a uma distância adequada para não afugentar os animais. É imprescindível não utilizar equipamentos que emitam sons ou luz que possam sinalizar a presença dos operadores; caso a montagem ocorra próximo a residências, as lâmpadas externas devem ser apagadas, quando possível.

### **Revisões e inspeções das redes de neblina**

É fundamental realizar inspeções regulares a cada 20 a 30 minutos nas redes para evitar que, se capturados, os morcegos fiquem excessivamente enroscados, o que pode causar estresse e ferimentos. Ao identificar morcegos presos, providenciar sua imediata remoção. A retirada deve ser realizada de forma cuidadosa e rápida, começando pelos indivíduos que estiverem menos emaranhados, para evitar fugas. Utilizar pinças sempre com cuidado para evitar danos, especialmente nas asas, ou estresse demasiado aos animais.

Figura 5.9 - Fotografias de *D. rotundus* enroscados em rede de neblina



Fonte: J.W.A. Soares e J.J. Vasques

Nota: morcegos presos nas redes devem ser retirados com cuidado para não causar danos.

Além disso, a contenção deve minimizar o tempo de exposição dos morcegos a fontes de luz artificial ou outros estímulos que possam comprometer seu bem-estar. Para prevenir a contaminação cruzada, os MH e os não hematófagos devem ser acondicionados em gaiolas separadas ou em sacos de pano individuais, para evitar contaminação entre eles.

Figura 5.10 - Fotografias de modelos gaiolas para contenção de morcegos



Fonte: J.W.A. Soares e J.J. Vasques

Nota: morcegos de espécies diferentes devem ser acomodados em gaiolas separadas para evitar brigas e contaminação.

Ao final das operações de captura deve-se aplicar dois gramas do produto anticoagulante nas costas de cada morcego *D. rotundus*, em seguida, devem ser liberados para retorno as colônias de origem.

Figura 5.11 - Fotografia de *D. rotundus* tratado com pasta anticoagulante



Fonte: J.W.A. Soares e J.J. Vasques (2025)

Nota: Após a aplicação da pasta os morcegos devem ser soltos para retornarem as colônias. O uso de anticoagulante deve ser realizado sob supervisão de um médico veterinário do serviço oficial

As redes devem ser cuidadosamente removidas, dobradas e acondicionadas, de modo a evitar emaranhamentos que possam comprometer seu uso futuro. As hastes devem ser limpas e amarradas em feixes para facilitar o transporte e o armazenamento.

### **Procedimentos de liberação dos morcegos**

Liberar os morcegos hematófagos (MH) após o tratamento no final da captura. Os morcegos não hematófagos podem ser liberados, durante a operação, quando não houver risco de recaptura na mesma noite. Evitar a liberação dos MH tratados com pasta anticoagulante próximo ao amanhecer, para não interferir no retorno à colônia.

Encaminhar ao laboratório apenas os morcegos encontrados caídos ou mortos para análise do VR.

### **Uso de equipamento de proteção individual - EPI**

As atividades de captura de morcegos devem ser realizadas por equipe de profissionais devidamente treinada. Os operadores devem utilizar EPI — luvas, máscaras, óculos e aventais para evitar risco de contaminação e acidentes. É

fundamental utilizar calçados adequados ao tipo de solo. Em áreas úmidas ou durante períodos chuvosos, recomenda-se o uso de botas de borracha.

Todas as atividades de captura e tratamento devem ser realizadas por profissionais treinados e sob a supervisão de médico veterinário, garantindo conformidade com as normativas vigentes.

Figura 5.12 - Fotografia de técnico durante manejo de morcegos com uso de EPI e lanterna de cabeça



Fonte: J.W.A. Soares e J.J. Vasques (2024).

Nota: somente profissionais do serviço veterinário oficial devidamente treinado e imunizado podem realizar manejo de MH

### **Treinamento e imunização da equipe de capturas**

Realizar cursos e treinamentos periódicos para os operadores, incluindo atualizações sobre novas técnicas e evidências científicas. Revisar e atualizar o manual sempre que houver novas evidências ou mudanças normativas, garantindo a eficácia e segurança das operações.

Todos os profissionais envolvidos nas operações de captura devem estar imunizados contra a raiva, tendo recebido a vacinação completa, com exames periódicos para mensuração da titulação de anticorpos, a fim de assegurar níveis adequados de proteção.

### **Monitoramento e cadastramento de abrigos**

Os abrigos dos morcegos, especialmente os de *D. rotundus*, devem ser cadastrados e monitorados periodicamente para subsidiar análises espaciais e a avaliação da eficácia das intervenções. Utilizar sistemas de georreferenciamento, GPS, para mapear e acompanhar a localização dos abrigos.

Figura 5.13 - Fotografia de abrigos de morcegos em estrada rural



Fonte: Arquivo do autor

Nota: Os abrigos devem ser georreferenciados, cadastrados e monitorados periodicamente

### **Registro operacional e reavaliação**

Manter um registro detalhado do número de animais capturados e tratados. Retornar a propriedade para verificar a eficácia dos procedimentos em até 15 dias. Caso haja evidências de novos e frequentes ataques avaliar a necessidade de novas capturas.

### **Educação Sanitária**

Realizar ações de divulgação sobre o papel biológico dos morcegos, os riscos na manipulação por pessoas não capacitadas e a importância de não destruir os abrigos devido ao risco de acidentes, possibilidade de infecção e à proibição legal dessas práticas.

Os produtores devem orientados a manter o hábito de monitorar em seus animais a presença de lesões provocadas por MH e notificá-las ao Serviços Veterinário Oficial

### **Considerações legais e normativas**

Os morcegos são protegidos pela Lei nº 5.197, de 3 de janeiro de 1967, que dispõe sobre a proteção à fauna; no entanto, permite a eutanásia de animais silvestres considerados nocivos à agricultura ou saúde pública, mediante licença.

A Instrução Normativa nº 141/2006 do IBAMA autoriza o controle de quirópteros em áreas urbanas e peri-urbanas e MH da espécie *D. rotundus* em regiões endêmicas para a raiva e em regiões consideradas de risco de ocorrência para a raiva.

A Instrução Normativa nº 05/2002 do MAPA estabelece as diretrizes para o controle da raiva dos herbívoros e orienta sobre o manejo de *D. rotundus*. A Instrução Normativa nº 41, de 19 de junho de 2020, atualiza os procedimentos, enfatizando que a aplicação de substâncias anticoagulantes deve ser realizada sob supervisão de médico veterinário e que os refúgios de morcegos devem ser cadastrados e monitorados e estabelece que devem ser remetidas, ao laboratório, amostras do sistema nervoso central do animal suspeito e morcegos encontrados mortos ou caídos.

### **Considerações finais**

A integração das técnicas de captura, dos equipamentos especializados e dos procedimentos operacionais descritos neste manual busca maximizar a eficácia das ações de manejo do *D. rotundus*, contribuindo para o controle da raiva dos herbívoros. O uso de EPI e o manejo cuidadoso dos animais são medidas fundamentais para a segurança dos operadores e o bem-estar dos quirópteros, alinhando a prática às normativas do PNCRH e garantindo o cumprimento dos objetivos do programa.

### **Referências**

ARELLANO-SOTA, C. Biology, Ecology, and Control of the Vampire Bat. *Reviews of Infectious Diseases*, v. 10, n. Supplement\_4, p. S615–S619, 1 nov. 1988.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA. Instrução normativa nº 141, de 19 de dezembro de 2006. Brasília: IBAMA, 2006. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=112966>. Acesso: 03 mar. 2025

BRASIL. Lei nº 5.197, de 3 de janeiro de 1967. Diário Oficial da União, Brasília, 3 jan. 1967.

DÍAZ, M. M.; SOLARI, S.; GREGORIN, R.; AGUIRRE, L.F.; BARQUEZ, R.M. Clave de identificación de los murciélagos neotropicales. Tucumán: Fundación Programa de Conservación de los Murciélagos de Argentina, 2021. Publicación Especial nº 4 PCMA. 221 p.

JOHNSON, N.; ARÉCHIGA-CEBALLOS, N.; AGUILAR-SETIEN, A. Vampire Bat Rabies: Ecology, Epidemiology and Control. *Viruses*, v. 6, n. 5, p. 1911–1928, 29 abr. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária - MAPA. **Instrução Normativa nº 5, de 1º de março de 2002**. Brasília, DF: MAPA, 2002. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/saude-animal-e-vegetal/saude-animal/qualidade-dos-servicos-veterinarios/arquivos/pncrh/in\\_05\\_2002\\_alt\\_\\_n\\_41\\_2020\\_norma\\_tecnica\\_controle\\_rh.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/saude-animal-e-vegetal/saude-animal/qualidade-dos-servicos-veterinarios/arquivos/pncrh/in_05_2002_alt__n_41_2020_norma_tecnica_controle_rh.pdf)

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária - MAPA. Instrução normativa nº 41, de 19 de junho de 2020. Brasília: MAPA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/produtos-veterinarios/legislacao-1/instrucoes-normativas/instrucao-normativa-mapa-no-41-de-4-12-2014.pdf/view>. Acesso em 03/mar.2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Controle da raiva dos herbívoros: manual técnico 2022**. 2. ed. v. 3. Brasília: MAPA/ACS, 2022. Disponível em: [https://wikisda.agricultura.gov.br/pt-br/Sa%C3%BAde-Animal/Manual\\_Tecnico\\_Control\\_e\\_da\\_Raiva\\_dos\\_Herbivoros](https://wikisda.agricultura.gov.br/pt-br/Sa%C3%BAde-Animal/Manual_Tecnico_Control_e_da_Raiva_dos_Herbivoros). Acesso em 18 mar. 2025.

GREENHALL, A. M.; SCHMIDT, U. *Natural History of Vampire Bats*. Boca Raton: CPress, 1988. 246 p.

KÜRTEEN, L.; SCHMIDT, U. Thermoreception in the common vampire bat (*Desmodus rotundus*). *Journal of Comparative Physiology*, v. 146, p. 223–228, 1982. DOI: 10.1007/BF00610238

TAVARES, V. da C.; GREGORIN, R. Sistemática de morcegos no Brasil: história e perspectivas. In: REIS, N. R. et al. (org.). *Morcegos do Brasil: biologia, ecologia e conservação*. Londrina: Armazém Digital, 2008. p. 13–25.

UIEDA, W.; CHAVES, M.E.; SANTOS, C.F. Guia das principais espécies de morcegos brasileiros. Botucatu: Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2002.

## ANEXO A

(Reprodução do anexo C do Manual Técnico para o Controle da Raiva dos Herbívoros do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) Brasil. 2022.

### EQUIPAMENTOS BÁSICOS PARA EQUIPES DE CAPTURA DE MORCEGOS HEMATÓFAGOS (2 PESSOAS)

ESPECIFICAÇÕES	Quantidades (por ano)
1. Rede de nylon tipo Mist Nets ( 7 e 12 metros de comprimento)	5 de cada
2. Haste para fixação de redes ( canos de alumínio, pvc, etc.)	10
3. Capacete com lanterna	2
4. Anticoagulante (Warfarina)	10 tubos de 50g
5. Macacão	4
6. Mochila grande de material impermeável	2
7. Gaiola retrátil tipo viveiro de peixe número 2	2
8. Puçá fundo (aprox. 1 metro de profundidade)	2
9. Luva de raspa cano longo	5 pares
10. Garrafa Térmica 5 litros	1
11. Corda de Nylon tipo alpinista (50 metros)	1
12. Óculos de proteção	2
13. Lanterna de mão resistente (mínimo três pilhas)	2
14. Cantil	2
15. Capa de impermeável e par de botas de cano longo	4
16. Machadinha	1
17. Facão com bainha	2
18. Maleta de primeiros socorros em caixa plástica	1
19. Aparelho para comunicação, com alcance mínimo de 3 km. (Tipo walk talk)	2
20. Linha de costura de nylon fino preto	1
21. Máscara contra pó, com filtro de carvão ativado	2
22. Saco de pano de 20x30 cm, com cordão para fechamento	5
23. Faca campanha	1
24. Aparelho GPS	1
25. Lâmpião a gás	1
26. Fixador de hastes	15
27. Cinta de segurança	2
28. Balde de 18l	1
29. Caixa de isopor	2
30. Material de desinfecção (álcool iodado, sabão em barra, solução de formol a 10%)	1
31. Barbante de algodão – rolo para fixar as hastes.	1
32. Caixa de necropsia	1
33. Recipiente para colheita de amostras (saco plástico, caixa de isopor, vidro)	1
34. Prancheta para anotações e respectivo material	2

**Obs.:** A quantidade de redes, hastes e anticoagulantes é muito variável e depende do índice de ocorrência e das áreas que serão trabalhadas.

Deve haver um estoque de reserva centralizado na Coordenação Estadual.

**ANEXO B****FICHA DE CONTROLE DE MORCEGOS HEMATÓFAGOS**

(Reprodução do anexo D do Manual Técnico para o Controle da Raiva dos Herbívoros do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) Brasil. 2022.

**1 – IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA PROPRIEDADE**

- a) Nome do proprietário \_\_\_\_\_  
 b) Nome do proprietário \_\_\_\_\_  
 c) Coordenadas: \_\_\_\_\_  
 d) Nome ou identificação do retiro/sub-sede (se houver) \_\_\_\_\_  
 e) Município \_\_\_\_\_  
 f) Unidade local veterinária \_\_\_\_\_

**2 - POPULAÇÃO ANIMAL E OBSERVAÇÃO DE MORDEDURAS POR *Desmodus rotundus***

NÚMERO DE ANIMAIS EXISTENTES			Nº DE ANIMAIS OBSERVADOS COM MORDEDURAS RECENTES		Nº TOTAL DE MORDEDURAS RECENTES	
ESPÉCIE	1ª.Obs. DATA	2ª. Obs.* DATA	1ª. Obs. DATA	2ª. Obs.* DATA	1ª.Obs. DATA	2ª. Obs.* DATA
	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__
Bovídea						
Equídea						
Suína						
Ovina						
Caprina						
Outras						

Houve pessoas agredidas por morcegos? ( ) Não ( ) Sim Quantas? \_\_\_\_\_

Quanto tempo ocorre a agressão? \_\_\_\_\_ meses

\*O retorno à propriedade em questão deve ocorrer aproximadamente 15 dias após a 1ª captura

**3 - CAPTURAS E TRATAMENTOS DE *D. rotundus***

a) Nos currais? Sim ( ) Não ( )

b) Nos abrigos? Sim ( ) Não ( )

Caso afirmativo, qual o número de cadastro do abrigo? \_\_\_\_\_

**NÚMERO DE MORCEGOS CAPTURADOS/DATA**

	1º Captura / /	2º Captura / /	3º Captura / /	4º Captura / /	5º Captura / /	6º Captura / /
Nº						

**4 - POPULAÇÃO DE MORCEGOS HEMATÓFAGOS (MH) EXISTENTE NO ABRIGO:**

DATA	ANTES DO TRATAMENTO		DATA	APÓS O TRATAMENTO	
	M. H. EXISTENTES (Nº estimado)	M. H. CAPTURADOS E TRATADOS (Nº)		M. H. EXISTENTES (Nº estimado)	M. H. CAPTURADOS E TRATADOS (Nº)

**5 - TRATAMENTO NOS HERBÍVOROS**

(aproveitar a oportunidade e orientar o produtor rural sobre o uso correto da pasta)

Foi aplicada pasta vampiricida nas agressões dos herbívoros? Não ( ) Sim ( )

Período: \_\_\_\_\_

Nº de animais tratados \_\_\_\_\_

Observações:

Local e data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_

### Anexo C

(Reprodução do anexo E do Manual Técnico para o Controle da Raiva dos Herbívoros Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), Brasil, 2022.

#### FICHA DE CADASTRAMENTO DE ABRIGO DE MORCEGOS HEMATÓFAGOS

##### 1 – IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA PROPRIEDADE

- a) Nome do proprietário \_\_\_\_\_  
 b) Nome da propriedade \_\_\_\_\_ Coordenadas: \_\_\_\_\_  
 c) Nome ou identificação do retiro/sub-sede (se houver) \_\_\_\_\_  
 d) Município \_\_\_\_\_  
 e) Unidade local veterinária \_\_\_\_\_

##### 2 - POPULAÇÃO ANIMAL E OBSERVAÇÃO DE MORDEDURAS POR *Desmodus rotundus*

NÚMERO DE ANIMAIS EXISTENTES		Nº DE ANIMAIS OBSERVADOS COM MORDEDURAS RECENTES		Nº TOTAL DE MORDEDURAS RECENTES		
ESPÉCIE	1ª.Obs. DATA	2ª. Obs.* DATA	1ª. Obs. DATA	2ª. Obs.* DATA	1ª.Obs. DATA	2ª. Obs. *DATA
	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__
Bovídea						
Equídea						
Suína						
Ovina						
Caprina						
Outras						

Houve pessoas agredidas por morcegos? ( ) Não ( ) Sim Quantas? \_\_\_\_\_  
 Quanto tempo ocorre a agressão? \_\_\_\_\_ meses

\*O retorno à propriedade em questão dever ocorrer aproximadamente 15 dias após a 1ª captura

## UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Programa de Pós-graduação Profissional em Defesa Sanitária Animal  
Cidade Universitária Paulo VI – Avenida Lourenço Vieira da Silva 1.000  
Bairro São Cristóvão– São Luís/MA; CEP 65.055.310

José Wendel Araujo Soares – Doutorando em Defesa Sanitária Animal UEMA  
e Fiscal estadual agropecuário da Agência de Defesa Agropecuária do Maranhão.

Maria do Socorro Costa Oliveira – Professora Doutora da UEMA

## APOIO



Este manual está licenciado sob a Licença **Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)**.

Você pode **compartilhar** (copiar e redistribuir o material em qualquer meio ou formato) e **adaptar** (remixar, transformar e criar a partir do conteúdo) **para fins não comerciais**, desde que **atribua o devido crédito aos autores**.

## CAPÍTULO VI

### 6 PERCEPÇÕES DOS PRODUTORES SOBRE MORCEGOS HEMATÓFAGOS (MH)

#### 6.1 Métodos, resultados e discussão

Foram realizadas entrevistas com produtores rurais utilizando formulário estruturado, contendo resenha da propriedade e abordando questões sobre animais silvestre, manejo dos herbívoros, instrução e comportamento dos produtores rurais (Tabela 6.1).

As entrevistas foram feitas presencialmente pela mesma equipe de pesquisadores e os entrevistados foram escolhidos ao acaso, entre produtores ruais possuidores de animais de herbívoros de produção. Foi empregado aplicativo de formulário eletrônico epicollet5. Como os entrevistadores eram membros do serviço veterinário oficial as visitas faziam parte da rotina de vigilância epidemiológica de defesa sanitária.

Tabela 6.1 - Formulário de perguntas incluídas no formulário de entrevistas, códigos e padrões de resposta

Código da Variável	Descrição	Tipo de Resposta
espoliação_animal	Histórico de ocorrência de espoliação de animais por MH na propriedade.	Sim / Não
animais_domesticos_mortos	Histórico de mortalidade de animais domésticos	Sim / Não
animais_silvestres_mortos	Histórico de mortalidade de animais silvestres na área da propriedade.	Sim / Não
sp_preferida_MH	Espécie doméstica mais frequentemente espoliada por MH.	bov. / equ. / suí. / cap./ ovi. / aves
abrigo_morcegos	Presença de abrigos de morcegos na propriedade ou em suas proximidades.	Sim / Não
animais_confinados_noite	Realiza o manejo de recolher ou confinar os animais durante a noite.	Sim / Não
estabulo_iluminado	Existência de iluminação artificial no estábulo ou curral durante o período noturno.	Sim / Não
distancia_estabulo	Distância entre o estábulo/curral e a residência do produtor	Numérico
fonte_agua	Tipo de fonte de água utilizada pelos animais (rio, lagoa, poço, encanada, tanque)	Natural / Artificial
realiza_lavoura	Prática de cultivo agrícola (roça) na propriedade.	Sim / Não
fogo_limpeza_roça	Utilização de queimadas controladas para limpeza da vegetação antes do plantio.	Sim / Não
realiza_vacinacao	Prática de vacinação anual dos herbívoros contra a raiva.	Sim / Não
escolaridade	Nível de escolaridade do produtor	Analf. / Fund/ Médio / Superior

mataria_morcegos	Predisposição em matar morcegos ou destruir abrigos caso encontre.	Sim / Não
conhece_beneficios_morcegos	Conhecimento sobre benefícios ecológicos dos morcegos (ex.: controle de insetos, polinização, disseminação de sementes).	Sim / Não
conhece_MH	Conhecimento sobre diferenças entre MH (MH) e não hematófagos (MNH).	Sim / Não

Legenda: Analf.= analfabeto; Fund. = nível fundamental; Médio = ensino médio; superior= ensino superior; bov. = bovino; equi= equino; cap. caprino; ovi. = ovino.

Fonte: Dados obtidos em entrevistas com 170 produtores rurais

Das 170 entrevistas realizadas com produtores rurais, 114 (67,1%) relataram histórico de espoliação de seus animais por MH, enquanto 56 (32,9%) afirmaram não ter observado ataques. Entre as propriedades afetadas que possuíam mais de uma espécie animal de produção, 48 produtores (42,1%) relataram preferência dos morcegos por determinada espécie.

Os resultados referentes às variáveis analisadas nas entrevistas encontram-se nas Tabelas 6-2 e 6-3.

Tabela 6.2 - Comparação de variáveis estruturais e socioeconômicas entre propriedades com e sem histórico de espoliações por MH, com testes estatísticos e valores de significância.

Variável	Grupo	n / mediana ou %	Estatística / OR	Valor-p
Tamanho do rebanho	Com espoliação	114 / 15,0 (med)	U = 3151,5	0,894
	Sem espoliação	56 / 18,5 (med)		
Número de bovinos	Com espoliação	106 / 3,0 (med)	U = 2652,0	0,560
	Sem espoliação	53 / 3,0 (med)		
Abrigo de morcegos	Com espoliação	48 (55,2%)	OR = 3,69	0,001
	Sem espoliação	11 (25,0%)		
Distância do estábulo(m)	Com espoliação	96 / 20,0 med	U = 2992,5	0,002
	Sem espoliação	48 / 10,0 med		
Estábulo iluminado	Com espoliação	39 (40,6%)	OR = 0,74	0,476
	Sem espoliação	23 (47,9%)		
Fonte de água (natural vs. artificial)	Com espoliação	59 natural(51,8%)	OR = 1,00	1,000
	Sem espoliação	29 natural(51,8%)		
Animais dormem confinados	Com espoliação	96 (84,2%)	OR = 0,89	1,000
	Sem espoliação	48 (85,7%)		
Realiza lavoura	Com espoliação	96 (84,2%)	OR = 1,61	0,291
	Sem espoliação	43 (76,8%)		
Uso de fogo (limpeza roça)	Com espoliação	88 (91,7%)	OR = 0,54	0,724
	Sem espoliação	41 (95,3%)		
Realiza vacinação	Com espoliação	58 (50,9%)	OR = 1,28	0,515
	Sem espoliação	25 (44,6%)		
Escolaridade (baixa vs. maior)	Com espoliação	96 (84,2%)	OR = 3,20	0,003
	Sem espoliação	35 (62,5%)		
Disposição para matança de morcegos	Com espoliação	77 (67,5%)	OR = 2,77	0,003
	Sem espoliação	24 (42,9%)		
Conhece benefícios dos morcegos	Com espoliação	20 (17,5%)	OR = 2,77	0,099
	Sem espoliação	4 (7,1%)		
Animais mortos (silvestres/domésticos)	Com espoliação	27 (23,7%)	OR = 1,43	0,434
	Sem espoliação	10 (17,9%)		

Fonte: Dados obtidos em entrevistas com 170 produtores rurais.

Legenda: OR = Odds Ratio (razão de chances); med = mediana

Notas: valores superiores a 1 indicam maior chance de ocorrência de espoliações associadas à variável analisada, enquanto valores inferiores a 1 indicam efeito protetor.

p = nível de significância estatística; valores de  $p < 0,05$  foram considerados estatisticamente significativos. Variáveis estatisticamente significativas: presença de abrigos de morcegos, distância do estábulo em relação à moradia.

Tabela 6.3 - Comparação de variáveis relacionadas à vacinação e às atitudes de produtores rurais em relação aos morcegos hematófagos (MH), com respectivos testes estatísticos e valores de significância.

Variável 1	Variável 2	Resultado / Estatística	Valor-p	Achado
Vacinação	Tamanho do rebanho	Mann-Whitney U = 3874,0	0,412	Sem diferença significativa
Vacinação	Escolaridade (baixa vs. maior)	OR = 1,14	0,855 (Fisher)	Sem associação significativa
Vacinação	Animais mortos	OR = 0,99	1,000	Sem associação significativa
Mataria morcegos	Conhece benefícios dos morcegos	OR = 1,79	0,266 (Fisher)	Sem associação significativa
Mataria morcegos	Escolaridade (baixa vs. maior)	OR = 2,66	0,009 (Fisher)	Baixa escolaridade ↑ chance de matar morcegos

Fonte: Dados obtidos em entrevistas com 170 produtores rurais Notas:

OR = Odds Ratio (razão de chances); valores superiores a 1 indicam aumento da probabilidade de ocorrência da variável dependente associada, enquanto valores inferiores a 1 indicam efeito protetor.

U = Estatística do teste de Mann-Whitney.

p = nível de significância estatística; valores de  $p < 0,05$  foram considerados significativos.

Variáveis estatisticamente significativas: escolaridade (baixa) associada à ocorrência de espoliações e à intenção de matar morcegos

Entre os 170 produtores entrevistados, 27 (15,9%) informaram que seus animais permanecem soltos durante a noite, enquanto 143 (84,1%) relataram mantê-los confinados em estábulos ou currais durante o período noturno. Dos 139 produtores que praticam atividades agrícolas, 95 (68,3%) relataram ocorrência de espoliações por MH, em contraste com 44 (31,7%) que não registraram ataques. Entre os 31 produtores que não realizam lavoura, 18 (58,1%) relataram espoliações e 13 (41,9%) não observaram ocorrência.

Com relação ao uso do fogo na limpeza das roças, 129 produtores admitiram empregar essa prática, dos quais 87 (67,4%) relataram espoliações, enquanto entre os 10 produtores que não utilizam o fogo, 8 (80%) também relataram ataques, indicando que a queima controlada não está associada ao risco de predação.

Os mamíferos silvestres mais frequentemente avistados nas propriedades foram a raposa (112 citações), a cutia (102) e a paca (100). Ao separar os grupos por ocorrência de espoliações, observou-se que, entre os produtores com histórico de ataques, a raposa foi o animal mais citado (77 propriedades), seguida pela cutia (72) e pela paca (70).

As propriedades que relataram presença de abrigos de morcegos apresentaram maior chance de ataques (OR = 3,69;  $p = 0,001$ ), evidenciando uma forte relação entre a disponibilidade de refúgios e a atividade de espoliação. Embora a pergunta não tenha se restringido especificamente a abrigos de MH, todos os produtores entrevistados afirmaram observar a presença de morcegos nas propriedades, independentemente da espécie. Esse achado sugere que MH e não hematófagos compartilham o mesmo habitat e possivelmente utilizam os mesmos abrigos

As propriedades com estábulos mais afastados das residências apresentaram maior frequência de ataques ( $U = 2992,5$ ;  $p = 0,002$ ), sugerindo que a proximidade das construções humanas e a presença de luz artificial durante o período noturno podem exercer efeito dissuasor sobre a atividade dos MH.

Produtores com baixa escolaridade apresentaram maior chance de relatar espoliações (OR = 3,20;  $p = 0,003$ ), refletindo limitações no acesso à informação técnica e práticas preventivas menos efetivas. A baixa escolaridade também aumentou significativamente a probabilidade de intenção de matar morcegos (OR = 2,66;  $p = 0,009$ ), indicando percepção negativa e desinformação sobre o papel ecológico desses animais.

As variáveis consideradas nas entrevistas não foram inseridas diretamente nos modelos de distribuição espacial dos focos de raiva e de espoliações por morcegos. Em vez disso, foram utilizadas como métricas complementares para caracterizar o sistema de criação de animais e compreender o comportamento e as atitudes dos agropecuaristas em relação aos morcegos e a raiva. Essa abordagem buscou fornecer subsídios para interpretar as variações observadas nos modelos matemáticos e enriquecer a compreensão do contexto epidemiológico local.

O componente sociocultural evidenciou que produtores com menor nível de escolaridade e histórico prévio de ataques apresentaram maior predisposição à destruição de abrigos e menor compreensão sobre a ecologia dos MH. Esses achados corroboram estudos que destacam o papel central da percepção humana na eficácia das estratégias de controle da raiva e apontam a educação sanitária como elemento-chave para a mitigação de conflitos entre produção agropecuária e conservação da fauna (Arellano-Sota, 1988; OMSA, 2025).

A correlação positiva entre presença de abrigos de morcegos e ocorrência de espoliações nos animais é consistente com estudos anteriores que destacam a proximidade entre colônias de *D. rotundus* e os locais de criação de animais domésticos como fator crítico para a manutenção do ciclo de transmissão da raiva (Delpietro et al., 1972; Johnson; Aréchiga-Ceballos; Aguilar-Setien, 2014).

A correlação significativa entre distância do estábulo e moradia do cuidador e a ocorrência de espoliações sugere que a proximidade das habitações pode atuar como um fator inibidor dos ataques de MH. No entanto, a presença de iluminação artificial não apresentou efeito significativo, apesar de 43 % dos criadores (cujo animais dormem em currais) relatarem utilizar esse recurso como medida de afastamento.

Nesse sentido, estudos demonstram que a luz artificial noturna pode alterar o comportamento de voo e forrageamento de várias espécies de morcegos (Rowse; Harris; Jones, 2016; Stone; Harris; Jones, 2015), porém o *D. rotundus* mostra maior tolerância à iluminação em ambientes rurais modificados, o que explica a ineficácia observada (Gonçalves et al., 2020).

Os produtores com baixa escolaridade (analfabetos e ensino fundamental) apresentaram cerca de três vezes mais chance de relatar espoliação em suas propriedades. Esse resultado reforça a relevância dos fatores socioeconômicos na vulnerabilidade às zoonoses. Nesse sentido, estudos destacam que a limitação no acesso a informações técnicas compromete práticas de manejo adequadas, vacinação e prevenção da raiva (Schneider et al., 2009).

Outro fator relevante foi a associação entre a predisposição do produtor de matar morcegos e a ocorrência de espoliação. Constatou-se que 67% dos produtores manifestaram disposição para eliminar morcegos ou destruir seus abrigos por conta própria, especialmente entre aqueles que já haviam registrado espoliações em seus animais.

A redução local de *D. rotundus* ligada à ação direta dos moradores é corroborada observações de O'Shea et al., (2016), segundo as quais o medo da raiva frequentemente leva à destruição indiscriminada de abrigos, inclusive de espécies não hematófagas, trazendo sérias consequências para a conservação.

. Produtores que relataram essa atitude tiveram aproximadamente três vezes mais chance de sofrer ataques em seus rebanhos. Isso significa que pecuaristas com animais atacados recorrem a matança como medida de defesa. Isso sugere que a reação das comunidades locais aos ataques pode ter impacto na dinâmica populacional dos quirópteros e pode ajudar a explicar por que, nas localidades com casos de raiva, as notificações de espoliação foram relativamente menores.

Este comportamento foi relatado por (Reid, 2016). Segundo o autor, proprietários e tratadores de animais que sofrem ataques de MH tendem a recorrer a matança indiscriminada de morcegos, mesmo sem conseguir identificar a espécie. No entanto, além de ineficaz, essa prática pode aumentar o risco de transmissão da raiva aos próprios produtores, devida a ausência de imunização prévia e orientação técnica (O'Shea et al., 2016; Streicker et al., 2012).

Além disso, entre os entrevistados que admitiram disposição para matar morcego, apenas 0,1% conhece pelo menos um benefício ecológico dos morcegos e apenas 0,06% afirmou conhecer diferenças entre MH e não hematófagos. Assim, programas de educação sanitária direcionadas a esse público podem contribuir significativamente para reduzir os impactos da espoliação, sem colocar em risco espécies não alvo e a saúde do produtor rural.

Quanto ao uso de fogo como método de manejo da vegetação em áreas agrícolas, dos 170 produtores entrevistados, 139 (81,8%) declararam trabalhar com roça, e entre esses, 129 (92,8%) relataram utilizar o fogo na limpeza do terreno antes do plantio. No entanto, nem a prática agrícola em si, nem o uso do fogo apresentaram associação estatisticamente significativa com a ocorrência de espoliação.

Embora se esperasse um possível efeito das queimadas sobre a ocorrência de raiva e de espoliações, considerando que o fogo é reconhecido como fator de perturbação e dispersão de quirópteros (Stephens et al., 2022) os resultados indicam que essa influência depende da intensidade e da escala espacial dos incêndios.

Em paisagens onde o fogo ocorre de forma controlada ou de baixa magnitude, ele pode não afastar os morcegos, mas apenas modificar temporariamente a estrutura do habitat, não interferindo de modo decisivo na dinâmica populacional e migratória dos morcegos a ponto de causar transbordamento do VR.

## CAPÍTULO VII

### 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo evidenciam a relevância da integração entre fatores ambientais, ecológicos e socioculturais para compreender a dinâmica da raiva animal. A pesquisa se destaca pelo caráter inovador, ao combinar métodos quantitativos e qualitativos aplicados de forma articulada à realidade local. A utilização de modelos preditivos aliados ao monitoramento de campo permitiu identificar padrões espaciais e temporais de espoliações por MH, revelando áreas de maior risco e fatores ambientais associados aos focos de raiva.

Em conjunto, os resultados indicam que estratégias sustentáveis de controle da raiva dos herbívoros devem priorizar abordagens integradas, combinando vacinação sistemática dos rebanhos, vigilância epidemiológica orientada por risco, educação sanitária e manejo ambiental, em detrimento de ações exclusivamente reativas e localizadas sobre as populações de morcegos. A modelagem espacial demonstrou ser uma ferramenta eficaz para identificar áreas prioritárias de intervenção, subsidiando políticas públicas alinhadas aos princípios da Saúde Única e à conservação da biodiversidade (Janoušková et al., 2023).

Os resultados do diagnóstico estadual demonstraram que a distribuição dos focos de raiva em herbívoros no Maranhão apresenta forte associação com variáveis ambientais. O aumento da frequência de incêndios e a expansão das áreas queimadas teve efeito protetor, provavelmente por desestimular a presença de MH, e estimular migração para áreas adjacentes.

A elevação da temperatura ambiental e os períodos de estiagem, ao reduzirem a disponibilidade hídrica, podem favorecer a ocorrência de focos de raiva, uma vez que alteram a distribuição espacial dos MH, ampliam a sobreposição entre colônias e aumentam o contato entre hospedeiros silvestres e domésticos.

A redução dos focos de raiva no Maranhão coincidiu com as ações de captura e tratamento de morcegos com pasta anticoagulante, confirmando a eficácia do controle aplicado. Contudo, no contexto da Região da Floresta dos Guarás, a ausência de correspondência direta entre a intensidade das espoliações e a ocorrência de focos em alguns setores sugere que populações reduzidas de morcegos ainda são capazes de sustentar a circulação do vírus, reforçando a complexidade da dinâmica epidemiológica. Os achados demonstraram que variáveis como altitude, proximidade de corpos d'água, amplitude de áreas de bordas florestais e densidade de rebanhos influenciam significativamente a distribuição espacial das espoliações.

As entrevistas com produtores rurais reforçaram a importância de aspectos socioeconômicos e comportamentais. Baixo nível de escolaridade, percepção limitada sobre o papel ecológico dos morcegos e estiveram associadas a maiores práticas de abate indiscriminado, indicando a necessidade de intensificar ações de educação sanitária voltadas à prevenção e manejo adequado dos quirópteros.

Do ponto de vista metodológico, o estudo contribuiu ao integrar diferentes técnicas analíticas e ao propor uma classificação temporal das propriedades conforme a persistência das espoliações, ferramenta útil para a vigilância orientada por risco. O modelo preditivo desenvolvido mostrou-se adequado para identificar áreas prioritárias de intervenção, corroborando a aplicabilidade de métodos de aprendizado de máquina na epidemiologia de doenças (Cutler et al., 2007).

Em síntese, conclui-se que a gestão da raiva animal requer uma abordagem integrada, baseada em evidências científicas e sensível ao contexto local e regional. A combinação entre vigilância epidemiológica qualificada, controle ambiental responsável, educação sanitária e fortalecimento da cobertura vacinal é fundamental para reduzir os impactos econômicos da raiva, proteger a biodiversidade e consolidar avanços duradouros na saúde animal e pública.

Recomenda-se a ampliação do monitoramento para outras regiões do estado, a incorporação de variáveis climáticas (temperatura, pluviosidade, umidade relativa e sazonalidade) e a atualização contínua dos dados espaciais, visando ao refinamento dos modelos preditivos.

Estudos futuros devem aprofundar a compreensão da epidemiologia da raiva dos herbívoros transmitida por MH por meio de abordagens multidisciplinares, incluindo modelagem de predadores e parasitas naturais, estratégias de controle biológico ou reprodutivo eticamente aceitáveis, rastreamento filogenético e análises genômicas do vírus, bem como avaliações sistemáticas da vacinação de herbívoros em diferentes contextos epidemiológicos e socioeconômicos.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, C. D. et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 4, p. 660–684, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>. Acesso em: 15 set. 2024.
- ALLEN, T. et al. Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. **Nature Communications**, v. 8, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00923-8>. Acesso em: 15 set. 2024.
- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>. Acesso em: 15 set. 2024.
- AMMAN, B. et al. Marburgvirus resurgence in Kitaka Mine bat population after extermination attempts, Uganda. **Emerging Infectious Diseases**, v. 20, n. 10, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3201/eid2010.140696>. Acesso em: 15 set. 2024.
- ANDERSON, A. et al. Economic evaluation of vampire bat (*Desmodus rotundus*) rabies prevention in Mexico. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 61, n. 2, p. 140–146, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/tbed.12007>. Acesso em: 15 set. 2024.
- ANSELIN, L.; SYABRI, I.; KHO, Y. GeoDa: an introduction to spatial data analysis. **Geographical Analysis**, v. 38, n. 1, p. 5–22, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>. Acesso em: 15 set. 2024.
- ANTUNES, K. D. et al. Descriptive analysis of rabies in wild animals in the state of Sergipe, Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, p. 169–173, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9574>. Acesso em: 15 set. 2024.
- ARAGÃO, L. E. O. C. et al. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2006GL028946>. Acesso em: 15 set. 2024.

ARAUJO, D. B. et al. Rabies neutralizing antibodies in terrestrial sylvatic animals from a region in Brazil endemic for two independent wildlife rabies variants. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 79, p. 58, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2018.11.152>. Acesso em: 15 set. 2024.

ARRUDA, R. C. N. et al. Spatial featuring of animal rabies outbreaks in Maranhão State, Brazil (1992–2022). **Acta Veterinaria Eurasia**, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/acve-2025-0009>. Acesso em: 15 set. 2024.

ARRUDA, R. C. N. et al. Captura de *Desmodus rotundus* em regiões de mata e manguezais do Estado do Maranhão: um estudo longitudinal. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 33, p. 571–574, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2013000500003>. Acesso em: 15 set. 2024.

BÁRCENAS-REYES, I. et al. Comportamiento epidemiológico de la rabia paralítica bovina en la región central de México, 2001–2013. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 38, n. 5, p. 402–409, 2015. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/18398>. Acesso em: 15 set. 2024.

BARNETT, K. M.; CIVITELLO, D. J. Ecological and evolutionary challenges for wildlife vaccination. **Trends in Parasitology**, v. 36, n. 12, p. 970–978, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.08.006>. Acesso em: 15 set. 2024.

BECKER, D. J.; SEIFERT, S. N.; CARLSON, C. J. Beyond infection: integrating competence into reservoir host prediction. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 35, n. 12, p. 1062–1065, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.08.014>. Acesso em: 15 set. 2024.

BENAVIDES, J. A. et al. Quantifying the burden of vampire bat rabies in Peruvian livestock. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 11, n. 12, e0006105, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006105>. Acesso em: 15 set. 2024.

BENAVIDES, J. A. et al. Defining new pathways to manage the ongoing emergence of bat rabies in Latin America. **Viruses**, v. 12, n. 9, p. 1002, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/v12091002>. Acesso em: 15 set. 2024.

BENAVIDES, J. A.; VALDERRAMA, W.; STREICKER, D. G. Spatial expansions and travelling waves of rabies in vampire bats. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1832, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0328>. Acesso em: 15 set. 2024.

BIAU, G. Analysis of a random forests model. **Journal of Machine Learning Research**, v. 13, p. 1063–1095, 2012. Disponível em: <https://www.jmlr.org/papers/v13/biau12a.html>. Acesso em: 15 set. 2024.

BLACKWOOD, J. C. et al. Resolving the roles of immunity, pathogenesis, and immigration for rabies persistence in vampire bats. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 51, p. 20837–20842, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1308817110>. Acesso em: 15 set. 2024.

BOHMANN, K. et al. Using DNA metabarcoding for simultaneous inference of common vampire bat diet and population structure. **Molecular Ecology Resources**, v. 18, n. 5, p. 1050–1063, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12891>. Acesso em: 15 set. 2024.

BOLÍVAR-CIMÉ, B. et al. Influence of landscape structure on the abundance of *Desmodus rotundus* (Geoffroy, 1810) in northeastern Yucatán, Mexico. **Ecosistemas y Recursos Agropecuarios**, v. 6, n. 17, p. 263–271, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.1968>. Acesso em: 15 set. 2024.

BOTTO NUÑEZ, G. et al. Synergistic effects of grassland fragmentation and temperature on bovine rabies emergence. **EcoHealth**, v. 17, n. 2, p. 203–216, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10393-020-01486-9>. Acesso em: 15 set. 2024.

BOYLES, J. G. et al. Economic importance of bats in agriculture. **Science**, v. 332, n. 6025, p. 41–42, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1201366>. Acesso em: 15 set. 2024.

BRANCALION, P. H. S. et al. Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes. **Science Advances**, v. 5, n. 7, e eaav3223, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav3223>. Acesso em: 15 set. 2024.

BROCK, P. et al. Predictive analysis across spatial scales links zoonotic malaria to deforestation. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 286, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2351>. Acesso em: 15 set. 2024.

BROWN, N.; ESCOBAR, L. E. A review of the diet of the common vampire bat (*Desmodus rotundus*) in the context of anthropogenic change. **Mammalian Biology**, v. 103, n. 4, p. 433–453, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42991-023-00358-3>. Acesso em: 15 set. 2024.

BUSCH, C. Consumption of blood, renal function and utilization of free water by the vampire bat, *Desmodus rotundus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 90, n. 1, p. 141–146, 1988. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(88\)91019-5](https://doi.org/10.1016/0300-9629(88)91019-5). Acesso em: 15 set. 2024.

CAMPOS, A. A. S. et al. Rabies surveillance in wild mammals in South of Brazil. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 67, n. 2, p. 906–913, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/tbed.13415>. Acesso em: 15 set. 2024.

CARABALLO, D. A. et al. A novel terrestrial rabies virus lineage occurring in South America: origin, diversification, and evidence of contact between wild and domestic cycles. **Viruses**, v. 13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/v13122484>. Acesso em: 15 set. 2024.

CHEN, C. et al. Zoonotic outbreak risk prediction with long short-term memory models: a case study with schistosomiasis, echinococcosis, and leptospirosis. **BMC Infectious Diseases**, v. 24, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12879-024-09892-y>. Acesso em: 15 set. 2024.

CHOISY, M.; ROHANI, P. Harvesting can increase severity of wildlife disease epidemics. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 273, n. 1597, p. 2025–2034, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3554>. Acesso em: 15 set. 2024.

COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 3, p. 311–325, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0266467402002237>. Acesso em: 15 set. 2024.

COLLINS, G. S. et al. Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): the TRIPOD Statement. **BMC Medicine**, v. 13, n. 1, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12916-014-0241-z>. Acesso em: 15 set. 2024.

COLOMBI, D. et al. Mechanisms for lyssavirus persistence in non-synanthropic bats in Europe: insights from a modeling study. **Scientific Reports**, v. 9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36485-y>. Acesso em: 15 set. 2024.

CONDORI, R. et al. Divergent rabies virus variant of probable bat origin in two gray foxes, New Mexico, USA. **Emerging Infectious Diseases**, v. 28, p. 1137–1145, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3201/eid2806.211718>. Acesso em: 15 set. 2024.

CUTLER, D. R. et al. Random forests for classification in ecology. **Ecology**, v. 88, n. 11, p. 2783–2792, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/07-0539.1>. Acesso em: 15 set. 2024.

DELLICOUR, S.; RASMUSSEN, D. A.; PYBUS, O. G. Explaining the geographic spread of emerging epidemics: a framework for comparing viral phylogenies and environmental landscape data. **BMC Bioinformatics**, v. 17, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12859-016-0924-x>. Acesso em: 15 set. 2024.

DELPIETRO, H. et al. Determination of the rate of rabies attack in bats. **Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana**, v. 73, n. 3, p. 222–230, 1972.

DELPIETRO, H. A.; MARCHEVSKY, N.; SIMONETTI, E. Relative population densities and predation of the common vampire bat (*Desmodus rotundus*) in natural and cattle-raising areas in north-east Argentina. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 14, n. 1, p. 13–20, 1992. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0167-5877\(92\)90080-Y](https://doi.org/10.1016/0167-5877(92)90080-Y). Acesso em: 15 set. 2024.

DELPIETRO, H. A.; RUSSO, R. G. Ecological and epidemiologic aspects of the attacks by vampire bats and paralytic rabies in Argentina and analysis of the proposals carried out for their control. **Revue Scientifique et Technique (Office International des Épizooties)**, v. 15, n. 3, p. 971–984, 1996.

DING, N. et al. A permanent host shift of rabies virus from Chiroptera to Carnivora associated with recombination. **Scientific Reports**, v. 7, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00395-2>. Acesso em: 15 set. 2024.

ESCOBAR, L. E. et al. Ecology and geography of transmission of two bat-borne rabies lineages in Chile. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 7, n. 12, e2577, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002577>. Acesso em: 15 set. 2024.

ESCOBAR, L. E. et al. Bat-borne rabies in Latin America. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 57, n. 1, p. 63–72, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0036-46652015000100009>. Acesso em: 15 set. 2024.

FAHL, W. O. et al. Raiva transmitida por morcegos no Brasil. **Acta Biológica Colombiana**, v. 20, n. 3, p. 21–35, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/abc.v20n3.45481>. Acesso em: 15 set. 2024.

FENTON, M. B.; BELL, G. P. Recognition of species of insectivorous bats by their echolocation calls. **Journal of Mammalogy**, v. 62, n. 2, p. 233–243, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1380701>. Acesso em: 15 set. 2024.

FREITAS, M. B. et al. Reduced insulin secretion and glucose intolerance are involved in the fasting susceptibility of common vampire bats. **General and Comparative Endocrinology**, v. 183, p. 1–6, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2012.11.023>. Acesso em: 15 set. 2024.

FRICK, W. F.; KINGSTON, T.; FLANDERS, J. A review of the major threats and challenges to global bat conservation. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1469, n. 1, p. 5–25, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nyas.14045>. Acesso em: 15 set. 2024.

GARBINO, G. S. T. et al. Updated checklist of bats (Mammalia: Chiroptera) from Brazil. **Zoologia (Curitiba)**, v. 41, e23073, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1984-4689.v41.e23073>. Acesso em: 15 set. 2024.

GARCÍA-MORALES, R.; BADANO, E. I.; MORENO, C. E. Response of neotropical bat assemblages to human land use. **Conservation Biology**, v. 27, n. 5, p. 1096–1106, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/cobi.12099>. Acesso em: 15 set. 2024.

GOMES, M. N.; UIEDA, W.; LATORRE, M. do R. D. de O. Influência do sexo de indivíduos da mesma colônia no controle químico das populações do morcego hematófago *Desmodus rotundus* (Phyllostomidae) no estado de São Paulo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 26, p. 38–43, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2006000100008>. Acesso em: 15 set. 2024.

GONÇALVES, F. et al. Prey choice of introduced species by the common vampire bat (*Desmodus rotundus*) on an Atlantic Forest land-bridge island. **Acta Chiropterologica**, v. 22, n. 1, p. 167–174, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2020.22.1.015>. Acesso em: 15 set. 2024.

GONZALEZ, R. Using random forest feature importance results to predict zoonosis. **bioRxiv**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1101/2023.05.04.23289530>. Acesso em: 15 set. 2024.

GRIFFITHS, M. E. et al. Dynamics of influenza transmission in vampire bats revealed by longitudinal monitoring and a large-scale anthropogenic perturbation. **Science Advances**, v. 11, n. 6, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.ads1267>. Acesso em: 15 set. 2024.

GUO, W. et al. Innovative applications of artificial intelligence in zoonotic disease management. **Science in One Health**, v. 2, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soh.2023.100045>. Acesso em: 15 set. 2024.

HAYES, M. A.; PIAGGIO, A. J. Assessing the potential impacts of a changing climate on the distribution of a rabies virus vector. **PLoS ONE**, v. 13, n. 2, e0192887, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192887>. Acesso em: 15 set. 2024.

HAYMAN, D. T. S. et al. Ecology of zoonotic infectious diseases in bats: current knowledge and future directions. **Zoonoses and Public Health**, v. 60, n. 1, p. 2–21, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/zph.12000>. Acesso em: 15 set. 2024.

HENRY, M.; COSSON, J. F.; PONS, J. M. Modelling multi-scale spatial variation in species richness from abundance data in a complex neotropical bat assemblage. **Ecological Modelling**, v. 221, n. 17, p. 2018–2027, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.05.011>. Acesso em: 15 set. 2024.

IBGE. **Portal de mapas do IBGE**. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa224030>. Acesso em: 15 mar. 2024.

ICTV. **Current ICTV taxonomy release**. International Committee on Taxonomy of Viruses. Disponível em: <https://ictv.global/taxonomy>. Acesso em: 15 set. 2024.

JANOUSHKOVÁ, E. et al. Quantifying spillover risk with an integrated bat-rabies dynamic modeling framework. **Transboundary and Emerging Diseases**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2023/2611577>. Acesso em: 15 set. 2024.

JOHNSON, N.; ARÉCHIGA-CEBALLOS, N.; AGUILAR-SETIEN, A. Vampire bat rabies: ecology, epidemiology and control. **Viruses**, v. 6, n. 5, p. 1911–1928, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/v6051911>. Acesso em: 15 set. 2024.

JOHNSON, S. R. et al. Striped skunk (*Mephitis mephitis*) home range and oral rabies vaccine bait distribution in West Virginia, USA. **Journal of Wildlife Diseases**, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.7589/JWD-D-24-00216>. Acesso em: 15 set. 2024.

JONES, S. G.; CONNER, W.; SONG, B. Spatially explicit nonlinear models for explaining the occurrence of infectious zoonotic diseases. **International Scholarly Research Notices**, v. 2012, p. 1–12, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5402/2012/132342>. Acesso em: 15 set. 2024.

KAPPES, A. et al. Livestock health and disease economics: a scoping review of selected literature. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 10, p. 1168649, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1168649>. Acesso em: 15 set. 2024.

KARESH, W. B. Shifting from wildlife disease threats to wildlife health. **Revue Scientifique et Technique (WOAH)**, edição especial, p. 141–144, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.20506/rst.SE.3568>. Acesso em: 15 set. 2024.

KAVLAKOGLU, E. **What is random forest?** IBM. Disponível em: <https://www.ibm.com/think/topics/random-forest>. Acesso em: 15 set. 2024.

KEESING, F. et al. Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. **Nature**, v. 468, n. 7324, p. 647–652, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature09575>. Acesso em: 15 set. 2024.

KHALIFA, M. E.; UNTERHOLZNER, L.; MUNIR, M. Structural and evolutionary insights into the binding of host receptors by the rabies virus glycoprotein. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.736114>. Acesso em: 15 set. 2024.

KOBAYASHI, Y. et al. Molecular and geographic analyses of vampire bat-transmitted cattle rabies in central Brazil. **BMC Veterinary Research**, v. 4, n. 1, p. 44, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1746-6148-4-44>. Acesso em: 15 set. 2024.

KOTAIT, I. et al. Non-human primates as a reservoir for rabies virus in Brazil. **Zoonoses and Public Health**, v. 66, n. 1, p. 47–59, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/zph.12527>. Acesso em: 15 set. 2024.

LAURANCE, W. F. et al. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological Conservation**, v. 144, n. 1, p. 56–67, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.021>. Acesso em: 15 set. 2024.

LAURANCE, W. F. et al. An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. **Biological Reviews**, v. 93, n. 1, p. 223–247, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/brv.12343>. Acesso em: 15 set. 2024.

LAWSON, A. et al. Integration of animal health and public health surveillance sources to exhaustively inform the risk of zoonosis: an application to echinococcosis in Rio Negro, Argentina. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 14, e0008545, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008545>. Acesso em: 15 set. 2024.

LEE, D. N.; PAPEŞ, M.; VAN DEN BUSSCHE, R. A. Present and potential future distribution of common vampire bats in the Americas and the associated risk to cattle. **PLoS ONE**, v. 7, n. 8, e42466, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042466>. Acesso em: 15 set. 2024.

LINHART, S. B.; FLORES-CRESPO, R.; MITCHELL, G. C. Control of vampire bats by topical application of an anticoagulant, chlorophacinone. **Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana**, v. 6, n. 2, 1972. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/12176>. Acesso em: 15 set. 2024.

LITTLE, M. P.; ROSENBERG, P. S.; ARSHAM, A. Alternative stopping rules to limit tree expansion for random forest models. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 15113, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19281-7>. Acesso em: 15 set. 2024.

LLOYD-SMITH, J. O. et al. Should we expect population thresholds for wildlife disease? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 9, p. 511–519, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.07.004>. Acesso em: 15 set. 2024.

LOGIUDICE, K. et al. The ecology of infectious disease: effects of host diversity and community composition on Lyme disease risk. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 2, p. 567–571, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0233733100>. Acesso em: 15 set. 2024.

LOPES, E. et al. Analysis of time series of cattle rabies cases in Minas Gerais, Brazil, 2006–2013. **Tropical Animal Health and Production**, v. 47, n. 4, p. 663–670, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0775-x>. Acesso em: 15 set. 2024.

LORD, R. D. An ecological strategy for controlling bovine rabies through elimination of vampire bats. **Proceedings of the Vertebrate Pest Conference**, v. 9, 1980. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/6hm5k1t3>. Acesso em: 15 set. 2024.

MAGIOLI, M. et al. Thresholds in the relationship between functional diversity and patch size for mammals in the Brazilian Atlantic Forest. **Animal Conservation**, v. 18, n. 6, p. 499–511, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/acv.12201>. Acesso em: 15 set. 2024.

MAPBIOMAS. **Deforestation and secondary vegetation – Appendix ATBD Collection 10**. São Paulo: MapBiomas, 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/download-dos-atbds-com-metodo-detalhado/>. Acesso em: 15 set. 2024.

MARANHÃO. Governo do Estado do Maranhão. **Polo Floresta dos Guarás**. Secretaria de Estado do Turismo. Disponível em: <https://turismo.ma.gov.br/programas-ou-campanhas/polo-floresta-dos-guaras>. Acesso em: 15 set. 2024.

MARANHÃO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais. **APA das Reentrâncias Maranhenses**. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/782>. Acesso em: 15 set. 2024.

MARPAUNG, F. et al. Environmental influence on a rabies spread modelling in North Sulawesi, Indonesia. **IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)**, p. 1–6, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/AGERS51788.2020.9452759>. Acesso em: 15 set. 2024.

MARSTON, C. et al. A random forest approach for predicting the presence of *Echinococcus multilocularis* intermediate host *Ochotona* spp. in relation to landscape characteristics in western China. **Applied Geography**, v. 55, p. 176–183, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.09.001>. Acesso em: 15 set. 2024.

MAYEN, F. Haematophagous bats in Brazil, their role in rabies transmission, impact on public health, livestock industry and alternatives to an indiscriminate reduction of bat population. **Journal of Veterinary Medicine. B, Infectious Diseases and Veterinary Public Health**, v. 50, n. 10, p. 469–472, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0450.2003.00713.x>. Acesso em: 15 set. 2024.

MESQUITA, E. T. K. de C. **Aspectos epidemiológicos da raiva em áreas de foco no estado do Maranhão**. 2023. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2023. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br>. Acesso em: 15 set. 2024.

MEZA, D. K. et al. Ecological determinants of rabies virus dynamics in vampire bats and spillover to livestock. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 289, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.0860>. Acesso em: 15 set. 2024.

MIALHE, P. J.; MOSCHINI, L. E. Controle populacional do morcego hematófago *Desmodus rotundus* e redução de ataques a herbívoros domésticos no município de São Pedro, São Paulo, Brasil. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 5, n. 3, p. 238–251, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2016v5i3.p238-251>. Acesso em: 15 set. 2024.

MOLLENTZE, N.; STREICKER, D. G. Predicting zoonotic potential of viruses: where are we? **Current Opinion in Virology**, v. 61, p. 101346, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2023.101346>. Acesso em: 15 set. 2024.

MORGAN, C. N. et al. Risk modeling of bat rabies in the Caribbean islands. **Tropical Medicine and Infectious Disease**, v. 5, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/tropicalmed5010035>. Acesso em: 15 set. 2024.

MORIKAWA, V. M. et al. Cat infected by a variant of bat rabies virus in a 29-year disease-free urban area of southern Brazil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 45, p. 255–256, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0037-86822012000200022>. Acesso em: 15 set. 2024.

NEUWEILER, G. **The biology of bats**. Oxford: Oxford University Press, 2000.

NUÑEZ, G. B. et al. Synergistic effects of grassland fragmentation and temperature on bovine rabies emergence. **EcoHealth**, v. 17, n. 2, p. 203–216, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10393-020-01486-9>. Acesso em: 15 set. 2024.

OLIVEIRA, U. et al. A near real-time web-system for predicting fire spread across the Cerrado biome. **Scientific Reports**, v. 13, p. 4829, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30560-9>. Acesso em: 15 set. 2024.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Rabies**. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/rabies>. Acesso em: 15 set. 2024.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE ANIMAL. **Sanidad de la fauna silvestre**. Disponível em: <https://www.woah.org/es/que-hacemos/sanidad-y-bienestar-animal/sanidad-de-fauna-silvestre/>. Acesso em: 15 set. 2024.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Programa regional de rabia en herbívoros domésticos**. Disponível em: <https://www.paho.org>. Acesso em: 15 set. 2024.

ORLANDO, S. A. et al. Risk factors associated with attacks of hematophagous bats (*Desmodus rotundus*) on cattle in Ecuador. **Vector-Borne and Zoonotic Diseases**, v. 19, n. 6, p. 407–413, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/vbz.2017.2247>. Acesso em: 15 set. 2024.

O'SHEA, T. J. et al. Multiple mortality events in bats: a global review. **Mammal Review**, v. 46, n. 3, p. 175–190, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/mam.12064>. Acesso em: 15 set. 2024.

PLOWRIGHT, R. K. et al. Ecological dynamics of emerging bat virus spillover. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1798, p. 20142124, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2124>. Acesso em: 15 set. 2024.

PLOWRIGHT, R. K. et al. Pathways to zoonotic spillover. **Nature Reviews Microbiology**, v. 15, n. 8, p. 502–510, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.45>. Acesso em: 15 set. 2024.

PUEBLA-RODRÍGUEZ, P. et al. Rabies virus in white-nosed coatis (*Nasua narica*) in Mexico: what do we know so far? **Frontiers in Veterinary Science**, v. 10, p. 1090222, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1090222>. Acesso em: 15 set. 2024.

PURSE, B. et al. Predicting disease risk areas through co-production of spatial models: the example of Kyasanur Forest Disease in India's forest landscapes. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 14, e0008179, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008179>. Acesso em: 15 set. 2024.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS geographic information system**. Beaverton: Open Source Geospatial Foundation, 2024. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 15 set. 2024.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 15 set. 2024.

REID, J. L. Knowledge and experience predict indiscriminate bat-killing intentions among Costa Rican men. **Biotropica**, v. 48, n. 3, p. 394–404, 2016. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/48574987>. Acesso em: 15 set. 2024.

REID, W. V.; MOONEY, H. A. **Millennium Ecosystem Assessment: ecosystems and human well-being – synthesis**. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org>. Acesso em: 15 set. 2024.

RIBEIRO, R. A. et al. Incorporating environmental heterogeneity and observation effort to predict host distribution and viral spillover from a bat reservoir. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 290, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.1739>. Acesso em: 15 set. 2024.

ROCHA, F. et al. Relations between topography, feeding sites, and foraging behavior of the vampire bat, *Desmodus rotundus*. **Journal of Mammalogy**, v. 101, n. 1, p. 164–171, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz177>. Acesso em: 15 set. 2024.

ROCHA, F.; DIAS, R. A. The common vampire bat *Desmodus rotundus* (Chiroptera: Phyllostomidae) and the transmission of the rabies virus to livestock: a contact network approach and recommendations for surveillance and control. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 174, p. 104809, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104809>. Acesso em: 15 set. 2024.

ROCHA, S. M. et al. Epidemiological profile of wild rabies in Brazil (2002–2012). **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 64, n. 2, p. 624–633, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/tbed.12428>. Acesso em: 15 set. 2024.

ROWSE, E. G.; HARRIS, S.; JONES, G. The switch from low-pressure sodium to light-emitting diodes does not affect bat activity at street lights. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, e0150884, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150884>. Acesso em: 15 set. 2024.

SALMAN, H. A.; KALAKECH, A.; STEITI, A. Random forest algorithm overview. **Babylonian Journal of Machine Learning**, v. 2024, p. 69–79, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.58496/BJML/2024/007>. Acesso em: 15 set. 2024.

SANTANA, A. P. L. de. **Controle da população de morcegos hematófagos na região de Andradina, São Paulo**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual Paulista, Andradina, 2012. Disponível em: <https://oasisbr.ibict.br>. Acesso em: 15 set. 2024.

SCHEFFER, K. C. et al. Vírus da raiva em quirópteros naturalmente infectados no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 41, p. 389–395, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-89102007000300010>. Acesso em: 15 set. 2024.

SCHEFFER, K. C. et al. Murciélagos hematófagos como reservorios de la rabia. **Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública**, v. 31, p. 302–309, 2014. Disponível em: <https://www.scielosp.org/pdf/rpmesp/2014.v31n2/302-309/es>. Acesso em: 15 set. 2024.

SCHNEIDER, M. C. et al. Rabies transmitted by vampire bats to humans: an emerging zoonotic disease in Latin America? **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 25, n. 3, p. 260–269, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1020-49892009000300010>. Acesso em: 15 set. 2024.

SEMA, Secretaria de estado do meio ambiente e recursos naturais. **NOTA TÉCNICA N°101/2025**. São Luís: [S.n.]. Disponível em: <https://www.sema.ma.gov.br/notas-tecnicas-meteorologica>. Acesso em: 15 set. 2024.

SILVA, L. A. M. da et al. Registro de espoliação em humano pelo morcego vampiro de asas brancas *Diaemus youngi* (Jentink, 1893) (Chiroptera: Desmodontinae). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e213101220411–

e213101220411, Disponível em: <<https://doi.org/10.15361/2175-0106.2019v35n2p56-62>> Acesso em: 15 set. 2024.

SILVA, E. M. C. *et al.* Estudo retrospectivo da raiva em herbívoros e animais silvestres no estado do Maranhão. **Ars Veterinaria**, v. 35, n. 2, p. 56–62, 23 ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20411> Acesso em: 15 set. 2024.

SINGANO, N. *et al.* One Health Lens on Rabies: Human–Bat Interactions and Genomic Insights of Rabies Virus in Rural Lilongwe, Malawi. **Tropical Medicine and Infectious Disease**, v. 10, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/tropicalmed10040095>> Acesso em: 15 set. 2024

SODRÉ, D. N. A. *et al.* Rabies in domestic herbivores and bats in Brazilian Amazon rainforest, Rondônia State: a retrospective study from 2002 to 2021. **SSRN Electronic Journal**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4374091>. Acesso em: 15 set. 2024.

STEPHENS, S. L. *et al.* Drought, tree mortality, and wildfire in forests adapted to frequent fire. **BioScience**, v. 68, n. 2, p. 77–88, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biosci/bix146>. Acesso em: 15 set. 2024.

STONE, E. L.; HARRIS, S.; JONES, G. Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions. **Mammalian Biology**, v. 80, n. 3, p. 213–219, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2015.02.004>. Acesso em: 15 set. 2024.

STONER-DUNCAN, B.; STREICKER, D. G.; TEDESCHI, C. M. Vampire bats and rabies: toward an ecological solution to a public health problem. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 8, n. 6, e2867, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002867>. Acesso em: 15 set. 2024.

STREICKER, D. *et al.* Host-pathogen evolutionary signatures reveal dynamics and future invasions of vampire bat rabies. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10926–10931, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1606587113>. Acesso em: 15 set. 2024.

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**, v. 279, n. 1742, p. 3384–3392, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.0538>. Acesso em: 15 set. 2024.

STREICKER, D. G.; ALLGEIER, J. E. Foraging choices of vampire bats in diverse landscapes: potential implications for land-use change and disease transmission. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 4, p. 1280–1288, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12690>. Acesso em: 15 set. 2024.

SUN, A. *et al.* Biomarkers selection and combination based on the weighted Youden index. **arXiv**, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.02090>. Acesso em: 15 set. 2024.

THOISY, B. de et al. Bioecological drivers of rabies virus circulation in a neotropical bat community. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 10, n. 1, e0004378, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004378>. Acesso em: 15 set. 2024.

THOMPSON, R. D.; MITCHELL, G. C.; BURNS, R. J. Vampire bat control by systemic treatment of livestock with an anticoagulant. **Science**, v. 177, n. 4051, p. 806–808, 1972. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.177.4051.806>. Acesso em: 15 set. 2024.

Transmission dynamics of zoonotic diseases from forest to cities. **International Journal of Agriculture and Biosciences**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.47278/book.zoon/2023.024>. Acesso em: 15 set. 2024.

TURMELLE, A. S. et al. Host immunity to repeated rabies virus infection in big brown bats. **Journal of General Virology**, v. 91, n. 9, p. 2360–2366, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1099/vir.0.020073-0>. Acesso em: 15 set. 2024.

UIEDA, W.; ANDRADE, F. A. G. de. Should the use of vampiricide paste be abolished in the control of the hematophagous bat, the main transmitter of rabies to humans and herbivores in Latin America? **American Journal of Biomedical Science & Research**, v. 10, n. 3, p. 396, 2020. Disponível em: <https://biomedgrid.com/index.php>. Acesso em: 15 set. 2024.

VELASCO-VILLA, A. et al. Molecular diversity of rabies viruses associated with bats in Mexico and other countries of the Americas. **Journal of Clinical Microbiology**, v. 44, n. 5, p. 1697–1710, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/JCM.44.5.1697-1710.2006>. Acesso em: 15 set. 2024.

VIANA, M. et al. Effects of culling vampire bats on the spatial spread and spillover of rabies virus. **Science Advances**, v. 9, n. 10, eadd7437, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.add7437>. Acesso em: 15 set. 2024.

VOIGT, C. C.; KELM, D. H. Host preference of the common vampire bat (*Desmodus rotundus*) assessed by stable isotopes. **Journal of Mammalogy**, v. 87, n. 1, p. 1–6, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1644/05-MAMM-F-2.76R1.1>. Acesso em: 15 set. 2024.

WACHARAPLUESADEE, S. et al. A longitudinal study of the prevalence of Nipah virus in *Pteropus lylei* bats in Thailand: evidence for seasonal preference in disease transmission. **Vector-Borne and Zoonotic Diseases**, v. 10, n. 2, p. 183–190, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/vbz.2008.0105>. Acesso em: 15 set. 2024.

WILKINSON, G. S. **Social organization and behavior**. In: **Natural history of vampire bats**. Boca Raton: CRC Press, 1988. p. 85–112.

WILKINSON, G. S. et al. Non-kin cooperation in bats. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 371, n. 1687, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0095>. Acesso em: 15 set. 2024.

WOODROFFE, R. et al. Culling and cattle controls influence tuberculosis risk for badgers. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 40, p. 14713–14717, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0606251103>. Acesso em: 15 set. 2024.

WUNNER, W. H. Rabies. In: JACKSON, A. C. (org.). **Virus**. 2. ed. Ontario, Canada: Elsevier, 2007. p. 23–69. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733861908000352>. Acesso em: 12 set. 2024.

YOU DEN, W. J. Index for rating diagnostic tests. **Cancer**, v. 3, n. 1, p. 32–35, 1950. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/1097-0142\(1950\)3:1%3C32::AID-CNCR2820030106%3E3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/1097-0142(1950)3:1%3C32::AID-CNCR2820030106%3E3.0.CO;2-3). Acesso em: 12 set. 2024.

ZARVA, I. D. et al. Features of the spatial spread of rabies in the conditions of mountain reliefs of South Siberia (Republic of Altai). **Epidemiology and Vaccinal Prevention**, v. 20, n. 2, p. 18–27, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2021-20-2-18-27>. Acesso em: 12 set. 2024.

ZARZA, H. et al. Geographic distribution of *Desmodus rotundus* in Mexico under current and future climate change scenarios: implications for bovine paralytic rabies infection. **Veterinaria México**, v. 4, p. 10–25, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21753/vmoa.4.3.390>. Acesso em: 12 set. 2024.

## APÊNDICE I Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE)

O(A) senhor(a) está sendo convidado(a) a participar como voluntário(a) do estudo intitulado “EFEITO DO CONTROLE POPULACIONAL DE *Desmodus rotundus* SOBRE A OCORRÊNCIA DE RAIVA ANIMAL E ESPOLIAÇÕES EM HERBÍVOROS NO LITORAL MARANHENSE.”, que será realizada nos municípios de Cururupu, Cedral, Mirinzal, Guimarães, Porto Rico, Bacuri, Serrano do Maranhão, Apicum-Açu e Central do Maranhão, no estado do Maranhão, cujo pesquisador responsável é José Wendel Araújo Soares, Médico Veterinário, doutorando do Programa de Pós-graduação em Defesa Sanitária Animal da Universidade Estadual do Maranhão, e a orientadora Profa. Dra. Maria do Socorro C. Oliveira médica Veterinária.

1) O estudo se destina a analisar o efeito do controle seletivo direto das populações de *D. rotundus* adotado como medida preventiva contra a raiva dos herbívoros sobre a diversidade e abundância da comunidade de quirópteros em área de manguezais.

2) A importância deste estudo é a necessidade de proteger a diversidade biológica de fauna silvestre e prevenir a ocorrência de raiva humana e animal.

3) Os resultados que se desejam alcançar é entender a dinâmica populacional dos quirópteros, os padrões de dispersão frente ao estresse de captura e os fatores envolvidos na ocorrência de espoliações em animais domésticos.

4) A contribuição do participante do estudo - de forma voluntária, responder a entrevista epidemiológica sobre o manejo dos seus animais e sobre presença de morcegos, ocorrência de espoliações, podendo, se houver, orientar sobre a presença e localização de abrigos.

5) Os riscos ao participante: constrangimento em fornecer informações sobre seus animais; a presença da equipe pode causar desconforto à família do participante; os trabalhos de captura de morcegos à noite poderão perturbar o sossego do participante.

6) Os pesquisadores adotarão as seguintes medidas para minimizar os riscos: visitas, previamente agendadas; entrevistas realizadas durante o dia; perguntas formuladas em linguagem simples e de fácil compreensão pelo participante; durante as capturas, a equipe permanece em silêncio no interior do veículo. O participante será conduzido ao posto médico mais próximo caso necessite de cuidados médicos.

7) Os benefícios aos participantes: redução da população de morcegos *D. rotundus* e consequentemente redução ou supressão das espoliações aos animais domésticos, menor probabilidade de ocorrência da raiva em animais e pessoas; redução do emprego de agrotóxicos pois os morcegos ajudam no controle de insetos.

8) Todos participantes serão devidamente informados e orientados sobre cada uma das etapas do estudo; Todas as perguntas e dúvidas serão prontamente esclarecidas pelo pesquisador.

9) O participante poderá, a qualquer momento, se recusar a continuar participando do estudo e o mesmo poderá retirar o seu consentimento, sem que isso lhe traga qualquer penalidade ou prejuízo;

10) Todas as informações obtidas através da participação do sujeito não permitirão a sua identificação, exceto aos responsáveis pelo estudo, e que a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto ou em publicações de artigos ou eventos científicos;

11) O participante poderá ser ressarcido(a) por qualquer despesa que venha a ter com a sua participação e, também, indenizado por todos os danos que venha a sofrer pela mesma razão.

Tendo o(a) participante compreendido perfeitamente tudo o que lhe foi informado sobre a sua participação no mencionado estudo e, estando consciente dos seus direitos, das suas responsabilidades, dos riscos e dos benefícios que a sua participação implica, o(a) mesmo(a) concorda em dela participar e, para tanto eu DOU O MEU CONSENTIMENTO SEM QUE PARA ISSO O(A) MESMO TENHA SIDO FORÇADO OU OBRIGADO.

Local e data .....

Assinatura ou impressão datiloscópica do(a) Participante da pesquisa \_\_\_\_\_

Maria do Socorro Costa Oliveira

Jose Wendel Araújo Soares

## APÊNDICE II Formulário epidemiológico

Município		Data da visita		N.	
Logradouro/povoado			Nome da Propriedade		
Nome do produtor, telefone		Localização		lat	long
Espécie	Bovina	Bubalina	Suína	Equina	Aves

Pergunta	Sim/Não	obs.
Houve espoliação dos animais por morcegos?		Data da última espoliação
Há preferência dos morcegos por espécie ou categoria?		Qual espécie preferida dos mh?
Houve espoliação de pessoas?		Data da última espoliação
Já encontrou morcegos caídos ou mortos na propriedade?		Quando e Quantos morcegos?
Já encontrou animal silvestre doente, caídos ou mortos na propriedade?		Quando e Quantos animais?
Algum animal de produção morreu com sinais de doença nervosa?		Quando e quantos animais morreram?
Realiza vacinação (anualmente) de seus animais contra raiva?		
Houve captura (oficial) de morcegos na propriedade?		Data da última captura
Já utilizou produto anticoagulante nos animais da propriedade para evitar ataques?		Quando foi realizado o ultimo tratamento?
Há morcegos comuns na propriedade?		
Há abrigos de morcegos na propriedade?		
Os animais de produção dormem em estábulos ou currais?		
O local de pernoite tem luz artificial (lâmpada) durante a noite?		
Distância do local de pernoite para a moradia do cuidador		
Qual fonte de água utilizada pelos animais?		Rio, Lagoa, Açude, poço artesiano, tanque de alvenaria
Realiza lavoura temporária (roça)?		
Utiliza fogo para limpeza do terreno antes do plantio		
Qual a escolaridade?		Analfabeto, fundamental, médio; superior, pós-graduação.
Mataria morcegos ou destruiria seus abrigos, se tivesse oportunidade?		
Conhece algum benefício proporcionado pelos morcegos?		Quais os benefícios?
Quais animais silvestres são comumente vistos na propriedade?		
Conhece as diferenças entre morcegos hematófagos e não hematófagos		Quais as diferenças

## APÊNDICE III - Códigos de cálculos em R

```

# MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES - D. rotundus
# Algoritmo: Random Forest (RF)
# Autor: José Wendel Araujo Soares - 2025
library(terra); library(sf); library(dplyr); library(caret)
library(pROC); library(randomForest); library(ggplot2)
# 1. Dados de presença
pres_sf <- st_as_sf(pres, coords = c("lon","lat"), crs = 4326) %>%
st_transform(31983)
# 2. Rasters ambientais
alt <- rast("alti30.tif"); decliv <- rast("decliv30.tif"); dens <- rast("dбов30.tif")
uso <- rast("uso30.tif"); frag <- rast("frag30.tif"); borda <- rast("borda30.tif")
ref <- alt
dens <- resample(dens, ref, "bilinear"); decliv <- resample(decliv, ref, "bilinear")
uso <- resample(uso, ref, "near"); frag <- resample(frag, ref, "near"); borda <-
resample(borda, ref, "near")
# 3. Extração de valores
dados <- extract(c(alt,dens,uso,frag,borda,decliv), vect(pres_sf), bind=TRUE)
dados_df <- as.data.frame(dados)
# 4. Distâncias
agua <- st_read("agua.shp") %>% st_transform(31983)
rodovias <- st_read("rodovia.shp") %>% st_transform(31983)
aglomerados <- st_read("aglo.shp") %>% st_transform(31983)
dados_df$dist_agua <- st_distance(pres_sf, agua) %>% apply(1,min) %>%
as.numeric()
dados_df$dist_rodovia <- st_distance(pres_sf, rodovias) %>% apply(1,min) %>%
as.numeric()
dados_df$dist_aglomerado <- st_distance(pres_sf, aglomerados) %>%
apply(1,min) %>% as.numeric()
# 5. Dataset final
dados_df$presenca <- pres$presenca
dados_rf <- dados_df %>%
elect(presenca,alt,decliv,dens,uso,borda,dist_agua,dist_rodovia) %>% na.omit()
# 6. Treino/Teste
set.seed(123); part <- createDataPartition(dados_rf$presenca, p=0.7, list=FALSE)
train <- dados_rf[part,]; test <- dados_rf[-part,]
# 7. Modelo RF
rf_model <- randomForest(as.factor(presenca) ~
alt+dens+uso+borda+dist_agua+dist_rodovia+decliv,
data=train, ntree=1000, importance=TRUE)
print(rf_model)
# 8. Avaliação ROC
prob <- predict(rf_model, test, type="prob")[,2]
roc_obj <- roc(test$presenca, prob, levels=c(0,1), direction="<")
auc_value <- auc(roc_obj)
roc_df <- data.frame(FPR=1-roc_obj$specificities, TPR=roc_obj$sensitivities)
ggplot(roc_df, aes(FPR,TPR)) + geom_line(color="blue",size=1.2) +

```

```
  geom_abline(slope=1,intercept=0,linetype="dashed",color="red") +
labs(title="Curva ROC - Random Forest", x="Taxa de Falsos Positivos", y="Taxa de
Verdadeiros Positivos") +
  annotate("text", x=.7, y=.1, label=paste("AUC =", round(auc_value,3)), size=5) +
  theme_minimal(base_size=13)
# 9. Importância das variáveis
varImpPlot(rf_model, main="Importância das Variáveis - Random Forest")
importancia_df <- data.frame(Variavel=rownames(importance(rf_model)),
MeanDecreaseAccuracy=importance(rf_model)["MeanDecreaseAccuracy"],
MeanDecreaseGini=importance(rf_model)["MeanDecreaseGini"])
print(importancia_df)
```

```

# Script em R - Declividade, Curvas de Densidade e Teste de Wilcoxon
# Autor: José Wendel Araujo Soares - 2025
# 0) Pacotes -----
# install.packages(c("terra","sf","ggplot2","units"))
library(terra); library(sf); library(ggplot2); library(units)
# 1) Caminhos dos arquivos -----
raster_alt <- "altim_gu.tif" # raster de altitude (m)
csv_pts <- "espolia_guaras.csv" # CSV com lon, lat
mask_shp <- "guara.shp" # contorno da área de estudo
# 2) Raster de altitude e declividade -----
r_alt <- rast(raster_alt)
r_slope <- terrain(r_alt, v="slope", unit="degrees", neighbors=8)
# 3) Pontos de ocorrência -----
df_pts <- read.csv(csv_pts)
pts_occ <- st_as_sf(df_pts, coords=c("lon","lat"), crs=4326) %>%
  st_transform(crs(r_slope))
# 4) Pontos aleatórios de controle -----
set.seed(2025)
n_occ <- nrow(pts_occ); n_ctrl <- n_occ * 5
mask <- st_read(mask_shp, quiet=TRUE) %>% st_transform(crs(r_slope))
pts_rand <- st_sample(mask, n_ctrl, type="random") %>%
  st_as_sf() %>% st_set_crs(st_crs(mask)) %>%
  st_transform(crs(r_slope))
# 5) Extração de valores de declividade -----
vals_occ <- extract(r_slope, vect(pts_occ))[,2]
vals_rand <- extract(r_slope, vect(pts_rand))[,2]
# 6) Data frame para curvas -----
df <- data.frame(
  slope = c(vals_occ, vals_rand),
  grupo = factor(rep(c("Foco","Controle"),
    times=c(length(vals_occ), length(vals_rand))),
    levels=c("Foco","Controle")))
# 7) Curvas de densidade -----
ggplot(df, aes(x=slope, color=grupo, fill=grupo)) +
  geom_density(alpha=0.3, na.rm=TRUE) +
  labs(x="Declividade (graus)", y="Densidade estimada",
  color="Grupo", fill="Grupo") +
  theme_minimal(base_size=13)
# 8) Teste de Wilcoxon -----
wilc_slope <- wilcox.test(x=vals_occ, y=vals_rand,
  alternative="two.sided", paired=FALSE,
  exact=FALSE, conf.int=TRUE)
print(wilc_slope)

```