

USO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA MODELAGEM DE ÁREAS DE RISCO DE ATAQUES DE MORCEGOS HEMATÓFAGOS *Desmodus rotundus*

Paulo Jacques Mialhe¹
Luiz Eduardo Moschini²

RESUMO

O morcego hematófago *Desmodus rotundus* é o principal transmissor da raiva dos herbívoros domésticos, que causa enormes prejuízos econômicos na pecuária da América Latina. Utilizando um modelo de análise de decisão por múltiplos critérios em Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi possível integrar as informações relacionadas as variáveis “População de *D. rotundus* existentes nos abrigos” e “Distância Euclidiana dos abrigos de morcegos” e gerar um mapa de áreas vulneráveis a ataques de *D. rotundus* aos bovinos na região centro leste no estado de São Paulo - Brasil. Foram encontrados 1566 *D. rotundus* distribuídos em 93 abrigos em 18 municípios. A maior parte da região estudada apresentou média vulnerabilidade a ataques por *D. rotundus*, em três grandes regiões com diferentes dimensões, separadas por áreas de baixa e muito baixa vulnerabilidade. Os municípios com áreas vulneráveis muito altas a ataques a herbívoros por *D. rotundus* foram São Carlos, Araraquara, Ribeirão Bonito e Dobrada e os municípios com áreas de alta vulnerabilidade a ataques a herbívoros por *D. rotundus* foram São Carlos, Araraquara, Descalvado, Ribeirão Bonito e Dourado. Os municípios de Monte Alto, Candido Rodrigues, Taquaritinga, Tabatinga, Santa Lucia, Américo Brasiliense, Boa Esperança do Sul e Trabiçu apresentaram áreas de vulnerabilidade muito baixa a média. A utilização de modelo de áreas vulneráveis a ataques de *D. rotundus* a bovinos utilizando análise multicritério em SIG fornecem elementos que podem ajudar a delinear estratégias de gestão ao combate e prevenção a ocorrência da raiva bovina em rebanhos, permitindo otimizar tempo e recursos.

Palavras-chave: morcego hematófago; modelo de risco; SIG; raiva

USE OF MULTI-CRITERIA ANALYSIS IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR MODELING AREAS AT RISK FOR ATTACKS BY VAMPIRE BAT *Desmodus rotundus*

ABSTRACT

The vampire bat *Desmodus rotundus* is the main transmitter of rabies among domestic herbivores, which causes enormous economic losses in livestock farming in Latin America. Using a decision analysis model using multiple criteria in a Geographic Information System (GIS), it was possible to integrate the information related to the variables “Population of *D. rotundus* existing in shelters” and “Euclidean distance from bat shelters” and generate a map of areas vulnerable to attacks by *D. rotundus* on cattle in the central eastern region of the state of São Paulo - Brazil. 1566 *D. rotundus* were found distributed in 93 shelters in 18 municipalities. Most of the studied region presented medium vulnerability to attacks by *D. rotundus*, in three large regions with different dimensions, separated by areas of low and very low vulnerability. The municipalities with very high vulnerability areas to attacks on herbivores by *D. rotundus* were São Carlos, Araraquara, Ribeirão Bonito and Dobrada and the municipalities with areas of high vulnerability to attacks on herbivores by *D. rotundus* were São Carlos, Araraquara,

¹ Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia UNESP Botucatu. paulo.mialhe@unesp.br

² Docente da Universidade Federal de São Carlos - Depto. de Ciências Ambientais. lemoschini@ufscar.br

Descalvado, Ribeirão Beautiful and Golden. The municipalities of Monte Alto, Candido Rodrigues, Taquaritinga, Tabatinga, Santa Lucia, Américo Brasiliense, Boa Esperança do Sul and Trabiju presented areas of very low to medium vulnerability. The use of a model of areas vulnerable to attacks by *D. rotundus* on cattle using multi-criteria analysis in GIS provides elements that can help to outline management strategies to combat and prevent the occurrence of bovine rabies in herds, allowing time and resources to be optimized.

Keywords: vampire bat; risk model; GIS; rabies

USO DE ANÁLISIS MULTICRITERIOS EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA MODELIZACIÓN DE ZONAS CON RIESGO DE ATAQUES POR MURCIÉLAGO HEMATÓFAGO *Desmodus rotundus*

RESUMEN

El murciélago vampiro *Desmodus rotundus* es el principal transmisor de la rabia entre los herbívoros domésticos, lo que provoca enormes pérdidas económicas en la ganadería de América Latina. Utilizando un modelo de análisis de decisión utilizando múltiples criterios en un Sistema de Información Geográfica (SIG), fue posible integrar la información relacionada con las variables “Población de *D. rotundus* existente en refugios” y “Distancia euclidiana a los refugios de murciélagos” y generar un mapa de áreas vulnerables a ataques de *D. rotundus* al ganado bovino en la región centro oriental del estado de São Paulo - Brasil. Se encontraron 1566 *D. rotundus* distribuidos en 93 albergues en 18 municipios. La mayor parte de la región estudiada presentó vulnerabilidad media a los ataques de *D. rotundus*, en tres grandes regiones con diferentes dimensiones, separadas por áreas de vulnerabilidad baja y muy baja. Los municipios con zonas de muy alta vulnerabilidad a los ataques a herbívoros por *D. rotundus* fueron São Carlos, Araraquara, Ribeirão Bonito y Dobrada y los municipios con zonas de alta vulnerabilidad a los ataques a herbívoros por *D. rotundus* fueron São Carlos, Araraquara, Descalvado, Ribeirão Hermosa y dorada. Los municipios de Monte Alto, Candido Rodrigues, Taquaritinga, Tabatinga, Santa Lucia, Américo Brasiliense, Boa Esperança do Sul y Trabiju presentaron áreas de vulnerabilidad muy baja a media. El uso de un modelo de áreas vulnerables al ataque de *D. rotundus* al ganado bovino mediante análisis multicriterio en SIG proporciona elementos que pueden ayudar a delinear estrategias de manejo para combatir y prevenir la aparición de rabia bovina en rebaños, permitiendo ahorrar tiempo y recursos. optimizado.

Palabras clave: murciélago vampiro; modelo de riesgo; SIG; rabia

INTRODUÇÃO

A raiva é uma antroponose viral infecciosa aguda e progressiva do sistema nervoso central, causada por vírus RNA, pertencentes ao gênero Lyssavirus da família Rhabdoviridae, de notificação compulsória, podendo ser transmitida por qualquer mamífero infectado, com letalidade de aproximadamente 100%, apesar de ser praticamente 100% prevenível. É considerada um problema de saúde pública, principalmente em países em desenvolvimento (1).

Na natureza, o vírus da raiva é mantido por ciclos ocasionalmente inter-relacionados, denominados ciclos urbano, silvestre, aéreo e rural. A raiva em cães e gatos domésticos se referem ao ciclo urbano, enquanto a raiva em morcegos refere-se ao ciclo aéreo, sendo que os demais ciclos são denominados terrestres. A raiva em herbívoros que contempla principalmente os bovinos e equinos estão associadas ao ciclo rural do vírus, tendo como principal vetor o morcego hematófago *D. rotundus*. O termo ciclo silvestre refere-se à raiva associada a espécies

silvestres, e o ciclo aéreo refere-se a raiva em espécies de morcegos hematófagos e não hematófagos. (2).

D. rotundus apresenta alta versatilidade na utilização de abrigos, que podem ser naturais ou artificiais. Os abrigos naturais são abrigos não construídos pelo homem, encontrados de forma natural no meio ambiente como grutas e ocos de árvores. Os abrigos artificiais são constituídos por construções realizadas pelo homem, como construções rurais, casas abandonadas, pontes, bueiros, fornos de carvão etc. (2)

Os abrigos também podem ser diurnos e noturnos. Os abrigos diurnos, também chamados de permanentes, são aqueles abrigos onde se estabelecem as colônias de morcegos e estes permanecem na maior parte do tempo, sendo classificados em abrigos maternidade e abrigos de machos solteiros. Os abrigos maternidade são haréns onde se reúnem fêmeas, seus filhotes e os machos dominantes. Os abrigos de machos solteiros são aqueles que abrigam indivíduos jovens que não atingiram a maturidade sexual para formar seus próprios haréns, e que foram expulsos dos abrigos maternidade pelos machos dominantes. Os abrigos noturnos, também chamados de digestórios, são abrigos temporários onde os morcegos após se alimentarem permanecem somente o tempo necessário para realizar a digestão e excreção para a seguir retornarem ao abrigo onde está a sua colônia. (2).

D. rotundus comumente forrageia em uma área de 5 a 8 km ao redor do abrigo diurno (Greenhall et al., 1983). Estudos no estado de São Paulo mostram que a maioria dos ataques ocorrem na área formada pelo raio de 5 km em torno de cada abrigo e que este é o menor raio que contém a maior proporção de propriedades que relataram mordeduras (2,3). A recomendação da Instrução Normativa (IN) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) nº 05/2002 que estabelece para a condução de medidas sanitárias (como o controle de morcegos hematófagos) em área de foco de raiva em herbívoros, a fixação de uma distância de 12 km a partir do foco para atuação, seja com base no modelo de círculos concêntricos ou de bloqueio linear (2,4).

Estudos de Análise de Riscos realizados pelo Serviço Oficial Veterinário têm sido utilizados para avaliar o potencial de ingresso de uma enfermidade e suas possíveis vias de introdução e disseminação, para avaliar áreas de maior vulnerabilidade para a ocorrência de uma doença, e para estimar o risco que representa a importação de um produto específico (5).

As intervenções de saúde podem ser consideradas “complexas”, pois são formadas por estratégias interdependentes destinadas a um objetivo específico e direcionadas a uma população heterogênea dependente do contexto (6). Além disso, zoonoses que envolvem animais selvagens, como é o caso da raiva e sua transmissão por morcegos hematófagos, possuem características particulares que as tornam difíceis de prevenir e controlar.

Casos de raiva bovina são geograficamente limitados à área de distribuição de *D. rotundus*. Identificar zonas de risco é muito útil para orientar esforços preventivos de vacinação em áreas onde o gado é mais vulnerável a ataques de *D. rotundus*. Dentre as técnicas disponíveis para avaliação de riscos, a análise de decisão por múltiplos critérios (ADMC) ou MCDA (abreviatura do inglês *multi criteria decision analysis*) têm sido utilizadas na área animal.

A ADCM tem sido usada para tratar de problemas complexos em várias áreas da atividade humana. No campo das Ciências Veterinárias, a ADCM já foi aplicada para comparar possíveis alternativas de controle de doenças zoonóticas complexas como a doença de “Lyme”, ranquear perigos microbiológicos para priorização de patógenos emergentes em saúde animal, classificar os sistemas de biossegurança em níveis de vulnerabilidade e mapear áreas de maior risco para febre aftosa (7) e na elaboração de programas de saúde (8).

A ADCM é composta por um conjunto de elementos para a tomada de decisão, que garantem o aperfeiçoamento na definição de importância dos critérios envolvidos na construção de mapeamentos de vulnerabilidade ambiental (9). Através de métodos indiretos, são

Comentado [A1]: Confuso

introduzidas e valoradas diferentes variáveis, hierarquizadas através de pesos em relação ao contexto, conforme uma árvore de decisão (10).

Em geoprocessamento, a análise multicritério pode ser entendida como um conjunto de procedimentos com o objetivo de reunir diversos planos de informação espaciais juntamente com as suas variações internas, ou classes de legenda, que depois de atribuídos pesos e notas, irá gerar uma nova informação, permitindo a junção de vários mapas, aos quais são atribuídos ordem de importância entre eles e o grau de impacto de cada classe de legenda para o objetivo final do estudo, com um mapa final sendo gerado do cruzamento de todas as informações inseridas. Portanto a técnica em primeiro momento gera o diagnóstico espacial vigente e posteriormente gera mapas prognósticos (11).

Os métodos de análise multicritério mais populares são MAUT, ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS e AHP. Para o presente trabalho foi utilizado o método AHP - Analytic Hierarchy Process (12), bastante difundido na literatura específica de SIG, e que também pode ser aplicado baseado no comportamento dos dados.

O método AHP consiste em uma estrutura hierárquica montada para auxiliar a tomada de decisões tendo como base o desenvolvimento de comparações pareadas dos valores de entrada, seguido pela análise de consistência da solução definindo a hierarquia de participação de cada variável, o que possibilita estruturar o modelo de pesos e notas em números ordinais, que podem ser transpostos nos pixels correspondentes de cada variável inserida, considerando que estas sejam representadas como dados matriciais (13,14).

Acredita-se que a ADMC é uma ferramenta bastante útil para o planejamento de programas de saúde pública e animal de maneira estruturada. Uma vez que auxilia a identificação de intervenções que produziriam resultados mais efetivos e de pontos-chave para a decisão que as partes interessadas devem considerar ao planejar um programa de vigilância, prevenção e controle (7,8).

O presente trabalho teve como objetivo identificar áreas de risco de ataques de morcegos hematófagos a herbívoros domésticos na região na região centro leste do estado de São Paulo, utilizando ADMC com a metodologia AHP SIG.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na região centro leste do estado de São Paulo, abrangendo 18 municípios: São Carlos, Analândia, Araraquara, Descalvado, Dobrada, Tabatinga, Américo Brasiliense, Cândido Rodrigues, Monte Alto, Pirangi, Taquaritinga, Matão, Santa Lucia, Ibaté, Ribeirão Bonito, Trabiçu, Dourado e Boa Esperança, durante os anos de 2002 a 2004. A região possui altitudes que variam de 412 a 1012m, com áreas de pastagens, agricultura perene e semi-perene, com um elevado número de construções rurais.

Os dados sobre o cadastramento dos abrigos de morcegos hematófagos, incluindo suas coordenadas geográficas e população encontrada nos abrigos foram gentilmente cedidos pela Casa da Agricultura de São Carlos-SP, pertencente ao Escritório de Defesa Agropecuária de Araraquara – SP.

A Análise Multicritério, utilizada em Sistema de Informação Geográfica (SIG), é um método capaz de gerar modelos espaciais que simulam situações reais que determinadas ações antrópicas e/ou fenômenos naturais podem gerar, ou seja, simulam causa e efeito com base em variáveis pré-determinadas pelos pesquisadores, sendo muito adequada para o emprego das geotecnologias na criação de síntese de variáveis, com o objetivo de identificar áreas prioritárias para algum fenômeno ou arranjo geográfico. Ela pode ser baseada na aplicação de funções de pertinência de conjuntos, tais como o fuzzy, média ponderada e do método do processo analítico hierárquico - Analytical Hierarchy Process (AHP), auxiliando no processo de tomada de decisão (15).

O método AHP - Analytic Hierarchy Process, bastante difundido na literatura específica de SIG, consiste em uma estrutura hierárquica montada para auxiliar a tomada de decisões tendo como base o desenvolvimento de comparações pareadas dos valores de entrada, seguido pela análise de consistência da solução definindo a hierarquia de participação de cada variável, o que possibilita estruturar o modelo de pesos e notas em números ordinais, que podem ser transpostos nos pixels correspondentes de cada variável inserida, considerando que estas sejam representadas como dados matriciais(12,14).

A álgebra de mapas consiste em uma operação matemática de média ponderada onde são considerados os valores de influência de cada variável e os pesos atribuídos a cada uma de suas classes. Cada mapa apresentará uma legenda baseada nos critérios da AHP, em uma escala com pesos variáveis possuindo legenda com classes por exemplo: (Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito baixa). Os modelos obtidos pelo método da Análise Multicritério permitem a análise sistêmica das áreas de interesse, e subsidia os órgãos públicos a tomada de decisão, gestão e contribuir para a adoção de ações mitigadoras (11).

As análises realizadas por meio de álgebras de mapas possibilitam modelar um sistema a partir de critérios considerados importantes à ocorrência do fenômeno modelado. Na literatura científica, autores como Moura (2007) entre outros destacam a importância do cruzamento de mapas – álgebra de mapas – por meio do método da Análise Multicritério, cujos resultados permitem a modelagem de um sistema frente à realidade.

O modelo será útil se apresentar alta probabilidade de aplicação e uma ampla gama de condições em que parece adequado, ao decidir o objetivo do modelo que será gerado, deve-se elencar os dados necessários para sua geração, isolando-os em planos de informação ou camadas (16). Esse procedimento realizado por SIG é frequentemente usado como instrumento para compreensão, análise e gestão de dados digitais de territórios complexos, sendo capazes de integrar informações diversas, como uso do solo, declividade, pedologia, hipsometria, entre outros.

Para a construção de mapas de risco de ataques a herbívoros domésticos por *D. rotundus* foram analisadas as variáveis “População de *D. rotundus* existentes nos abrigos” e “Distância Euclidiana dos abrigos de morcegos”.

Em relação a variável “População de *D. rotundus* encontrados nos abrigos”, foram atribuídos valores crescentes ao risco de ataques a herbívoros domésticos por morcegos *D. rotundus* à medida que essa população aumentava, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Pesos atribuídos quanto ao número de morcegos existentes nos abrigos e respectivos graus de vulnerabilidade de ataques a herbívoros domésticos por morcegos *D. rotundus*

Número de morcegos existentes nos abrigos	Peso	Vulnerabilidade a ataques por <i>D. rotundus</i>
Entre 1 e 4 morcegos	1	Muito baixa
Entre 5 – 14 morcegos	2	Baixa
Entre 15 – 49 morcegos	3	Média
Entre 50 – 99 morcegos	4	Alta
Acima de 100 morcegos	5	Muito alta

Em relação à distância dos abrigos de morcegos, foram construídos em SIG círculos concêntricos com diferentes raios de distância entre si a partir de cada abrigo até a distância de 12km, baseado em recomendação do MAPA (2). que estabelece para a condução de medidas sanitárias a fixação de uma distância de 12km a partir do foco de raiva em herbívoros e para a condução de medidas sanitárias, incluindo o controle de morcegos hematófagos.

Baseado nas distâncias médias de voo de *D. rotundus* a partir de seus abrigos em ataques a herbívoros domésticos no estado de São Paulo (3,17) foram atribuídos pesos maiores para distâncias dentro de raios mais próximos dos abrigos, decrescendo esses valores à medida que esta distância aumentava, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Pesos atribuídos a Distância dos abrigos de morcegos e seus respectivos graus de vulnerabilidade de ataques a herbívoros domésticos por morcegos *D. rotundus*

Distâncias dos abrigos	Peso	Vulnerabilidade a ataques por <i>D. rotundus</i>
De 0 a 1 km	5	Muito alta
De 1,1 a 3 km	4	Alta
De 3,1 a 5 km	3	Média
De 5,1 a 9 km	2	Baixa
De 9,1 a 12 km	1	Muito baixa

Os procedimentos de tratamento das informações e de elaboração de mapas foram realizados utilizando o software de SIG ArcGIS 10.1. O método matemático utilizado para sobreposição foi o de soma ponderada, utilizando a ferramenta de álgebra de mapa (Single Output Map Algebra), sendo obtido a partir desta o mapa de Áreas Vulneráveis de Ataques a Herbívoros Domésticos por *Desmodus rotundus*, agrupado em cinco classes (Muito Baixa, Baixa, Média Alta e Muito Alta), utilizando o método de classificação Natural Breaks. Todos os mapas foram elaborados na escala 1:50.000, utilizando-se cartas do IBGE de maneira a ficarem compatíveis com a base de dados utilizada.

RESULTADOS

Foram encontrados 1.566 indivíduos da espécie *D. rotundus* distribuídos em 93 abrigos nos municípios estudados, conforme descritas nas Tabelas 3 a 7. O número de *D. rotundus* encontrados nos abrigos variou entre 1 até 374 morcegos.

Tabela 3. Identificação de abrigos e população de morcegos *D. rotundus* encontrados nestes na Região Geográfica Intermediária de Araraquara (municípios de Américo Brasiliense e Araraquara).

Identificação	Município	População	População
60	Américo Brasiliense	4	8
61	Américo Brasiliense	2	7
62	Américo Brasiliense	1	2
63	Américo Brasiliense	2	4
47	Américo Brasiliense	7	3
48	Araraquara	7	4
64	Araraquara	78	6
67	Araraquara	4	6
14	Araraquara	4	21
16	Araraquara	15	5
34	Araraquara	0	70
49	Araraquara	22	3
45	Araraquara	2	1
46	Araraquara	2	8
59	Araraquara	8	2
TOTAL		158	9

Tabela 4. Identificação de abrigos e população de *D. rotundus* encontrados nestes na Região Geográfica Intermediária de Araraquara (municípios de Boa Esperança do Sul, Cândido Rodrigues, Descalvado, Dobrada, Matão, Santa Lucia, Tabatinga, Taquaritinga e Trabiju)

Identificação	Município	População
80	Boa Esperança do Sul	8
89	Boa Esperança do Sul	7
91	Boa Esperança do Sul	2
88	Boa Esperança do Sul	4
90	Boa Esperança do Sul	3
50	Cândido Rodrigues	4
37	Descalvado	6
38	Descalvado	6
41	Descalvado	21
39	Descalvado	5
42	Dobrada	70
85	Dobrada	3
55	Matão	1
56	Matão	8
57	Matão	2
58	Santa Lúcia	9
43	Tabatinga	6
44	Tabatinga	2
54	Taquaritinga	2
78	Trabiju	13
TOTAL		158

Tabela 5. Identificação de abrigos e população de *D. rotundus* encontrados nestes na Região Geográfica Intermediária de São Carlos (municípios de Descalvado, Dourado e Ibaté) e Região Geográfica Intermediária de Rio Claro, município de Analândia

Identificação	Município	População
37	Descalvado	6
38	Descalvado	6
41	Descalvado	21
39	Descalvado	5
83	Dourado	34
86	Dourado	21
87	Dourado	2
82	Dourado	2
84	Dourado	11
85	Dourado	3
66	Ibaté	12
65	Ibaté	5
6	Analândia	6
25	Analândia	1
TOTAL		135

Tabela 6. Identificação de abrigos e população de *D. rotundus* encontrados nestes na Região Geográfica Intermediária de São Carlos (município de Ribeirão Bonito)

Identificação	Município	População
68	Ribeirão Bonito	12
70	Ribeirão Bonito	3
71	Ribeirão Bonito	2
72	Ribeirão Bonito	2
79	Ribeirão Bonito	14
94	Ribeirão Bonito	7
69	Ribeirão Bonito	71
73	Ribeirão Bonito	26
76	Ribeirão Bonito	12
92	Ribeirão Bonito	124
93	Ribeirão Bonito	35
74	Ribeirão Bonito	3
75	Ribeirão Bonito	1
77	Ribeirão Bonito	2
81	Ribeirão Bonito	5
TOTAL		319

Tabela 7. Identificação e população de *D. rotundus* encontrados nos abrigos na Região Geográfica Intermediária de São Carlos (município de São Carlos).

Identificação	Município	População
1	São Carlos	68
2	São Carlos	13
3	São Carlos	9
4	São Carlos	43
5	São Carlos	12
7	São Carlos	9
8	São Carlos	374
9	São Carlos	37
10	São Carlos	2
12	São Carlos	11
13	São Carlos	5
17	São Carlos	12
19	São Carlos	6
20	São Carlos	4
21	São Carlos	7
22	São Carlos	74
23	São Carlos	3
24	São Carlos	3
27	São Carlos	1
28	São Carlos	14
29	São Carlos	1
30	São Carlos	4
36	São Carlos	3
40	São Carlos	22
11	São Carlos	4
18	São Carlos	2
31	São Carlos	3
33	São Carlos	2
35	São Carlos	26
15	São Carlos	15
32	São Carlos	7
		796

A Figura 1 mostra o mapa de áreas vulneráveis de ataques a herbívoros domésticos por *Desmodus rotundus*

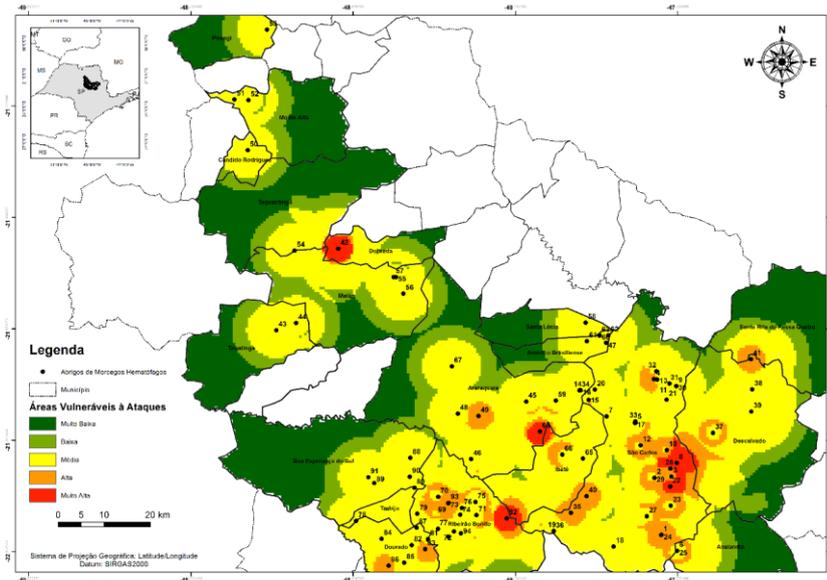


Figura 1. Áreas vulneráveis de ataques a herbívoros domésticos por *Desmodus rotundus*

Os municípios com áreas vulneráveis a ataques a herbívoros por *D. rotundus* classificadas como muito alta foram São Carlos (no entorno dos abrigos 8, 22 e 28), Araraquara (no entorno do abrigo 64), Ribeirão Bonito (no entorno do abrigo 92), e Dobrada (no entorno do abrigo 42).

Os municípios com áreas vulneráveis a ataques a herbívoros por *D. rotundus* classificadas como alta foram São Carlos (no entorno dos abrigos 1,2,12,13,24,35 e 40), Araraquara (no entorno do abrigo 64), Descalvado (no entorno do abrigo 41), Ibaté (no entorno do abrigo 66), Ribeirão Bonito (no entorno dos abrigos 73,75,69 e 93), Dourado (no entorno dos abrigos 83 e 86), Analândia (no entorno dos abrigos 6 e 25) e Santa Rita do Passa Quatro (no entorno do abrigo 41).

Os restantes dos abrigos estavam localizados em áreas de média vulnerabilidade. Nenhum abrigo estava localizado em área de baixa e muito baixa vulnerabilidade.

A maior área com alta e muito alta vulnerabilidade a ataques por *D. rotundus* foi a leste do município de São Carlos, onde foi encontrado o maior número de abrigos, incluindo o abrigo mais populoso encontrado no estudo (abrigo oito, com 374 *D. rotundus*) e o terceiro abrigo mais populoso (abrigo 22, com 74 morcegos).

A área sudoeste do município de São Carlos, próximo aos limites do município de Ibaté, também apresentou alta vulnerabilidade a ataques. Apesar dos abrigos encontrados nesta área do município possuírem um número de morcegos classificados com média vulnerabilidade (abrigo 40, com 22 morcegos e abrigo 35, com 26 morcegos), a proximidade entre esses abrigos elevou para alta a vulnerabilidade de ataques nesta área.

Na área norte do município de São Carlos foram encontrados abrigos com população de morcegos classificadas como baixa a média vulnerabilidade, porém a proximidade entre eles aumentou a área de confluência destes abrigos para alta vulnerabilidade. O restante do

município apresentou áreas com média vulnerabilidade a ataques, com poucas áreas de baixa e muita baixa vulnerabilidade, localizadas principalmente ao norte do município.

O município de Ribeirão Bonito foi o segundo município que apresentou maiores áreas com alta e muito alta vulnerabilidade a ataques por *D. rotundus*, localizadas na região leste, com vulnerabilidade muito alta, onde encontrou-se o segundo maior abrigo populoso (abrigo 92, com 124 morcegos) e na região oeste, com alta vulnerabilidade, onde foi encontrado o quarto abrigo mais populoso (abrigo 69, com 71 morcegos) e próximo a outros quatro abrigos (abrigos 70, 93, 73, e 79). Apesar destes últimos abrigos apresentarem uma população de morcegos com média vulnerabilidade a ataques, a proximidade entre eles elevou para alta a vulnerabilidade de ataques nesta área. O restante do município apresentou áreas com média vulnerabilidade a ataques, com poucas áreas de baixa vulnerabilidade, localizadas principalmente ao sul do município.

O município de Ibaté apresentou uma área de alta vulnerabilidade a ataques próximo ao abrigo 66. Apesar deste abrigo apresentar uma população de morcegos com baixa vulnerabilidade a ataques (12 morcegos), a proximidade do abrigo 64, localizado no município de Araraquara, com 78 morcegos (alta vulnerabilidade) elevou para alta a vulnerabilidade ao entorno desse abrigo. Na região sul, apesar de não haver nenhum abrigo de morcegos, apresentou áreas de vulnerabilidade muito alta e alta próximo aos limites do município de Ribeirão Bonito, devido à proximidade do abrigo 92 localizado neste último, com uma elevada população (124 morcegos). O restante do município apresentou áreas com média vulnerabilidade a ataques, e uma pequena área de baixa vulnerabilidade, localizadas a sudoeste do município.

O município de Araraquara apresentou área de vulnerabilidade a ataques por *D. rotundus* muito alta na região sudeste do município, no entorno do abrigo 64, o terceiro abrigo mais populoso encontrado neste estudo, com uma população de 78 morcegos. A região centro oeste do município apresentou uma área ao entorno do abrigo 49 de alta vulnerabilidade a ataques. Apesar deste abrigo apresentar uma população de morcegos com média vulnerabilidade a ataques, a distância inferior a 3 km de outros abrigos elevou para alta a vulnerabilidade a ataques de morcegos nesta área. O restante do município apresentou na sua maioria áreas com média vulnerabilidade a ataques. O norte e noroeste do município apresentou áreas de baixa e muito baixa vulnerabilidade, devido estarem localizadas a distâncias maiores de abrigos pouco populosos.

O município de Descalvado apresentou áreas de alta vulnerabilidade a ataques na região sudoeste e na região norte dele. Na região norte encontrava-se o abrigo 41, com uma população classificada com de média vulnerabilidade a ataques (21 morcegos), porém a distância inferior a 3 km de outros abrigos elevou esta área para alta a vulnerabilidade a ataques de morcegos. Na região sudoeste, apesar de haver apenas um abrigo de morcego hematófago (abrigo 37) com vulnerabilidade muito baixa a ataques (seis morcegos), a proximidade de vários abrigos localizados na região limítrofe com o município de São Carlos, elevou a classificação da área como de alta vulnerabilidade a ataques de morcegos hematófagos.

O restante do município de Descalvado apresentou na sua maioria áreas de média vulnerabilidade, e a região sudeste apresentou áreas de baixa e muito baixa vulnerabilidade, devido à ausência de abrigos de morcegos e estar localizado a distâncias superiores a 9 km (vulnerabilidade muito baixa) de outros abrigos.

O município de Santa Rita do Passa Quatro, apesar de não possuir nenhum abrigo de morcego hematófago, apresentou uma área com alta vulnerabilidade a ataques, localizada a sudoeste do município na região limítrofe com o município de Descalvado, onde se encontrava o abrigo 41, que possuindo uma população de morcegos classificada com de média vulnerabilidade a ataques (21 morcegos), a distância inferior a 3 km de outros abrigos elevou esta área para alta vulnerabilidade a ataques de morcegos. O entorno de até 9 km a partir deste

abrigo apresentou média vulnerabilidade a ataques, e o restante do município apresentou vulnerabilidade baixa e muito baixa a ataques, devido à ausência de abrigos de morcegos e estar localizado a distâncias superiores a 9 km de outros abrigos.

O município de Analândia apresentou apenas dois abrigos (abrigos seis e 25) com uma população de baixa vulnerabilidade a ataques (seis e um morcego, respectivamente) localizados a oeste do município, na região limítrofe com o município de São Carlos com alta vulnerabilidade a ataques, elevando a vulnerabilidade a ataques por morcegos hematófagos desta região para média a alta. O entorno de até 9 km a partir deste abrigo apresentou média vulnerabilidade a ataques, e o restante do município apresentou vulnerabilidade baixa e muito baixa a ataques, devido à ausência de abrigos de morcegos e estar localizado a distâncias superiores a 9 km de outros abrigos.

O município de Dourado apresentou duas áreas com alta vulnerabilidade, uma na região oeste, no entorno do abrigo 86 (com uma população de 21 morcegos) e outra na região leste, no entorno do abrigo 83 (com uma população de 34 morcegos). Apesar dos abrigos encontrados nestas áreas apresentarem uma população de morcegos com média vulnerabilidade a ataques, a distância inferior a 3 km de outros abrigos elevou para alta a vulnerabilidade a ataques de morcegos nestas áreas. O restante do município apresentou média vulnerabilidade a ataques, devido à presença outros abrigos pouco populosos e estar a distâncias superiores a 3 km de abrigos mais populosos.

No município de Trabiju foi encontrado apenas um abrigo de morcegos (abrigo 13) na região sudeste do município, próximo ao limítrofe do município de Dourado, com uma baixa população de *D. rotundus* (14 morcegos). Apesar disso, toda a área do município foi classificada no modelo como de média vulnerabilidade a ataques devido a pequena extensão territorial deste município e sua proximidade de abrigos dos municípios vizinhos, como a área de alta vulnerabilidade a ataques no município de Ribeirão Bonito.

No município de Boa Esperança do Sul foram encontrados cinco abrigos (abrigos 80, 89, 91, 88 e 90), com populações muito baixa e baixa de morcegos, localizados na região sudeste do município. Devido à proximidade destes abrigos entre si e de abrigos localizados nos municípios vizinhos, incluindo a área de alta vulnerabilidade no município de Ribeirão Bonito, esta área foi classificada como de média vulnerabilidade. O restante do município foi classificado como baixa e muito baixa vulnerabilidade, devido à ausência de abrigos e estar a maiores distâncias de abrigos dos municípios vizinhos.

O município de Dobrada apresentou uma área de vulnerabilidade muito alta a ataques por morcegos na região oeste do município, no entorno do único abrigo encontrado (abrigo 42), o sexto abrigo mais populoso encontrado no estudo (70 morcegos). A região centro-leste do município apresentou na sua maioria áreas com média vulnerabilidade a ataques e a região leste apresentou áreas de baixa e muito baixa vulnerabilidade, devido à ausência de abrigos de morcegos e estarem distantes de áreas com média a muito alta vulnerabilidade.

No município de Tabatinga foram encontrados dois abrigos de morcegos hematófagos (abrigos 43 e 44) na região nordeste do município, com baixa população de morcegos, porém a proximidade destes abrigos elevou esta região para média vulnerabilidade a ataques. O restante do município apresentou áreas de vulnerabilidade baixa a muito baixa a ataques por *D. rotundus*, devido à ausência de abrigos e de áreas de vulnerabilidade alta e muito alta nas proximidades.

No município de Matão foram encontrados três abrigos de morcegos (abrigos 55,56 e 57) com populações muito baixa e baixa de morcegos, localizadas na região leste do município. Devido à proximidade entre esses abrigos e da área de vulnerabilidade muito alta localizada no município de Dobrada, esta área e toda região norte do município (próxima a região de vulnerabilidade muito alta no município de Dobrada) foi classificada como média vulnerabilidade.

A região sudoeste limítrofe com o município de Tabatinga, apresentou área de média vulnerabilidade, devido estar incluída na área de média vulnerabilidade a ataques deste último município. O restante do município apresentou áreas de vulnerabilidade baixa a muito baixa a ataques por *D. rotundus*, devido à ausência de abrigos e de áreas de vulnerabilidade alta e muito alta nas proximidades.

No município de Taquaritinga foi encontrado apenas um abrigo de *D. rotundus* (abrigo 54), localizado na região sudeste do município, limítrofe com o município de Matão, com uma população de morcegos muito baixa, porém a proximidade da área de vulnerabilidade muito alta localizada no município de Dobrada elevou esta área para média vulnerabilidade a ataques por *D. rotundus*. O restante do município apresentou áreas de vulnerabilidade baixa a muito baixa a ataques por *D. rotundus*, devido à ausência de abrigos e de áreas de vulnerabilidade alta e muito alta nas proximidades.

No município de Monte Alto foram encontrados na região noroeste dois abrigos (51 e 52) com populações baixa e muito baixa, porém a proximidade entre esses abrigos elevou para média vulnerabilidade nesta região e para toda a toda a região oeste. O restante do município apresentou áreas de vulnerabilidade baixa a muito baixa a ataques por *D. rotundus*, devido à ausência de abrigos e de áreas de vulnerabilidade alta e muito alta nas proximidades.

O município de Candido Rodrigues apresentou apenas um abrigo com baixa população de morcegos ao norte do município, porém a localização desse abrigo na área de média vulnerabilidade localizada no limítrofe ao município de Monte Alto elevou a maior parte da área do município para média vulnerabilidade, com uma pequena área de baixa vulnerabilidade ao sul do município.

No município de Pirangi foi localizado apenas um abrigo (abrigo 53), localizado na região nordeste do município, com baixa população de morcegos, porém a localização desse abrigo próximo a área de média vulnerabilidade localizada no município de Monte Alto elevou esta parte do município para média vulnerabilidade. O restante do município, apresentou áreas de baixa e muito baixa vulnerabilidade devido à ausência de abrigos e de áreas de vulnerabilidade alta e muito alta nas proximidades.

DISCUSSÃO

As áreas vulneráveis a ataques por morcegos *D. rotundus* se diferenciaram em função da combinação das variáveis “População de morcegos encontrados nos abrigos” e “Distância dos abrigos de morcegos hematófagos” adotadas no modelo.

A maior parte do espaço estudado apresentou média vulnerabilidade a ataques por *D. rotundus*, em três grandes regiões com diferentes dimensões, separadas entre si por áreas de baixa e muito baixa vulnerabilidade.

A primeira grande região envolve uma grande área que abrange o sul do município de Santa Rita do Passa Quatro, Descalvado, noroeste de Analândia, São Carlos, Ibaté, Ribeirão Bonito, Dourado, Trabiçu, leste de Boa Esperança do Sul, a maior parte de Araraquara, leste de Américo Brasiliense e Santa Lucia. Apesar da maior parte da região apresentar média vulnerabilidade a ataques por morcegos, também nela se concentraram as áreas de risco alta e muito alta, graças a presença dos abrigos mais populosos, especialmente no município de São Carlos.

A segunda grande região envolveu parte dos municípios de Matão, Dobrada, Taquaritinga e Tabatinga. Apesar de haver uma área de vulnerabilidade muito alta a ataques de *D. rotundus* nesta região, não há presença de áreas de alta vulnerabilidade e a presença de áreas de vulnerabilidade baixa e muito baixa é superior a região anterior. A terceira grande região envolveu parte dos municípios Candido Rodrigues, Monte Alto e Pirangi, em que não houve

áreas de vulnerabilidade muito alta e alta. Percebe-se assim que houve um declínio na vulnerabilidade a ataques por *D. rotundus* no sentido sul – norte da região estudada.

A variável “População de morcegos encontrados nos abrigos” além de ser importante na vulnerabilidade a ataques de *D. rotundus* nos arredores dos abrigos, é também relevante para o risco de disseminação do vírus da raiva, pois uma maior densidade populacional das colônias implica na disputa por alimento, fêmeas, e hierarquia, com machos alfa defendendo territórios e seus haréns contra os machos subalternos e/ou intrusos (de outras colônias). Geralmente este comportamento ocorre como forma de intimidação, mas também podem resultar em ferimentos devido ao comportamento agressivo (18). É possível que nessas condições a circulação do vírus rábico deve ser grandemente favorecida por essas interações agonísticas facilitando sua propagação interna nas colônias desse morcego hematófago.

Dessa forma, a estimativa de áreas de influência dos abrigos de morcegos hematófagos (área mais provável de sobrevoos para repasto sanguíneo a partir dos abrigos) e da população destes morcegos encontrados nos abrigos possuem relevância na elaboração de modelos de áreas vulneráveis a ataques por morcegos hematófagos e conseqüente riscos de transmissão do vírus da raiva. A combinação desses fatores permite identificar as áreas com maior vulnerabilidade de ataques e possível ocorrência da raiva bovina, e assim priorizar ações da Vigilância Epidemiológica e Educação Sanitária, otimizando tempo, recursos e aumentando a eficiência dos serviços.

É necessário também deve haver um constante monitoramento dos abrigos e as populações de morcegos encontradas, a fim de que os dados inseridos no modelo sejam constantemente atualizados e possam ser monitoradas as variações nas áreas de vulnerabilidade a ataques de morcegos, possibilitando uma maior eficácia nas ações preventivas, tal como vacinação e controle da população de morcegos hematófagos através do controle seletivo direto e indireto, e assim de combate a raiva bovina.

CONCLUSÕES

A utilização de modelo de áreas vulneráveis a ataques de *D. rotundus* a bovinos utilizando análise multicritério em SIG fornecem elementos que podem ajudar a delinear estratégias de gestão ao combate e prevenção a ocorrência da raiva bovina em rebanhos com uma boa acurácia, sendo uma ferramenta útil no auxílio de políticas públicas de controle e vigilância epidemiológica da raiva, priorizando esforços nas áreas de maior risco, com maior eficiência e economia de tempo e recursos em suas atividades de rotina.

REFERENCIAS

1. Quevedo LS, Hugen GGP, Morais RM, Quevedo PS. Aspectos epidemiológicos, clínico-patológicos e diagnóstico de raiva em animais de produção: Revisão. PUBVET 14(11); 1-11,2020. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/320>
2. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, MAPA. Controle da raiva dos herbívoros: manual técnico. Brasília: Mapa/ACS, 2009. p. 43-56. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/saude-animal-e-vegetal/saude-animal/programas-de-saude-animal/raiva-dos-herbivoros-e-ceb/MANUAL_RAIVAHORBIVOROS2009.pdf
3. Dias RA., Nogueira Filho VS, Goulart CS, Oliveira IC, Marques GHF, Ferreira F, Amaku M, Soares JS. Modelo de risco para circulação do vírus da raiva em herbívoros no Estado de

- São Paulo, Brasil. Rev Panam Salud Publica 30(4):370–6, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/rpsp/2011.v30n4/370-376/>
4. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, MAPA. Instrução Normativa nº 5, de 01 mar. 2002. Aprova as normas técnicas para o controle da raiva dos herbívoros domésticos. Disponível em: <http://www.cda.sp.gov.br/www/legislacoes/popup.php?action=vieweidleg=728>
 5. Arsevska E, Hellal J, Mejri, S, Hammammi S, Marianneau P, Calavas D, Hénaux V. Identifying Areas Suitable for the Occurrence of Rift Valley Fever in North Africa: Implications for Surveillance. *Transbound Emerg Dis*, 63: 658–674, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25655790/>
 6. Ravishankar N, Mujja A, Lewis MG, Nair NS. A tool to measure complexity in public health interventions. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 2(2): 80–86, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213398414000232>
 7. Aenishaenslin, C, Hongoh, V, Cissé, HD, Hoen, HD, Samoura K, Michel P, Waaub JP, Bélanger D. Multi-criteria decision analysis as an innovative approach to managing zoonoses: results from a study on Lyme disease in Canada. *BMC Public Health* 13, 897, 2013. Disponível em: <https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2458-13-897#citeas>
 8. Corbellini LG, Fernández F, Vitale E, Olmos CM, Charbonnier P, Iriarte-Barbosa MV, Riet-Correa F. Shifting to foot-and-mouth disease-free status without vaccination: Application of the PROMETHEE method to assist in the development of a foot-and-mouth national program in Uruguay. *Preventive Veterinary Medicine*, 1(181):105082, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32634750/>
 9. Vasiljevic TZ, Srdjevic Z, Bajcetic R, Miloradov MV. GIS and the analytic hierarchy process for regional landfill site selection in transitional countries: a case study from Serbia. *Environ. Manag.*, 49(2): 445-58, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-011-9792-3>
 10. Kannan M, Saranathan E, Anabalagan, R. Landslide vulnerability mapping using frequency ratio model: a geospatial approach in Bodi-Bodimettu Ghat section, Theni district, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 6, (8):2901-2913, 2012. Disponível em : <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-012-0587-5>
 11. Moura, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análise multicritério. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, n. XII, 2007, Florianópolis. Anais do XII SBSR. Florianópolis: INPE, 2007. p. 2899 – 2906. Disponível em: <https://www.geoproea.com.br/publicacoes/2007/reflexoes-metodologicas-como-subsidio-para-estudos-ambientais-baseados-em-analise-de-multicriterios>
 12. Saaty TL 1992. Multicriteria Decision Making: the analytical hierarchical process. RWS, Pittsburg. 125p.

13. Munier, N. A strategy for using multicriteria analysis in decision-making. A guide for simple and complex environmental projects. ed. Springer, 2011. 298p. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-1512-7> Acesso em 14/10/2019
14. Sadasivuni R, O'Hara CG, Nobrega RAA, Dumas JA. A transportation corridor case study for multi-criteria decision analysis. Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference, Baltimore. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/288463903_A_transportation_corridor_case_study_for_multi-criteria_decision_analysis
15. Meirelles E.O.; Dourado F., da Costa V.C. Análise multicritério para mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa na Bacia do rio Paqueta-RJ. Geo UERJ, 33, e26037, 2018. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/26037/26776>
16. Moura, A. C. M.; Jankowski, P. Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios - "sensitivity analysis to suitability evaluation". Revista Brasileira de Cartografia: Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial, Rio de Janeiro, 4(68):665-684., 2016. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44274>
17. Mialhe, P. J.; Moschini, L. E. Análise de fatores de receptividade e vulnerabilidade na elaboração de modelo de risco de ataques de morcegos hematófagos a bovinos no município de São Pedro - SP. Archives of Veterinary Science, 23(2):72-83. 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/veterinary/article/view/52298>
18. Gomes, M.N, Uieda, W. Abrigos diurnos, composição de colônias, dimorfismo sexual e reprodução do morcego hematófago *Desmodus rotundus* (E. Geoffroy) (Chiroptera, Phyllostomidae) no Estado de São Paulo, Brasil Revista Brasileira de Zoologia, 21 (3): 629-638,2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22390575/>

Recebido em: 01/12/2023

Aceito em: 26/03/2024