

**UNIVERSIDADE TIRADENTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE**

**ATROPELAMENTO DE FAUNA SILVESTRE EM ÁREAS DE
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (UC) DO ESTADO DE
SERGIPE, BRASIL**

DOUGLAS ARAN DOS SANTOS BOMFIM

Aracaju
Junho – 2023

UNIVERSIDADE TIRADENTES
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE

**ATROPELAMENTO DE FAUNA SILVESTRE EM ÁREAS DE
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (UC) DO ESTADO DE
SERGIPE, BRASIL**

Dissertação de Mestrado submetida à
banca examinadora para a obtenção do
título de Mestre em Saúde e Ambiente,
na área de concentração Saúde e
Ambiente.

DOUGLAS ARAN DOS SANTOS BOMFIM

Orientadores

Prof. Dr. Rubens Riscala Madi
Prof^a. Dr^a. Cláudia Moura de Melo

Aracaju
Junho – 2023

F682o Bomfim, Douglas Aran dos Santos
Atropelamento de fauna silvestre em áreas d unidade de conservação (UC) do estado de Sergipe, Brasil/ Douglas Aran dos Santos Bomfim; orientação [de] Prof. Dr. Rubens Riscala Madi, Prof.^a Dr. ^a Cláudia Moura de Melo – Aracaju: UNIT, 2023.

62 f.il ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) - Universidade Tiradentes, 2023

1. Biodiversidade. 2. Hotspots. 3 Medidas mitigadoras 4. Rodovias I. Bomfim, Douglas Aran dos Santos II. Madi, Rubens Riscala (orient.). III. Melo, Cláudia Moura de (orient.) IV. Universidade Tiradentes. V. Título.

CDU: 656.121: 504 (813.7)(81)

**ATROPELAMENTO DE FAUNA SILVESTRE EM ÁREAS DE
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (UC) DO ESTADO DE
SERGIPE, BRASIL**

Douglas Aran dos Santos Bomfim

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDO À BANCA EXAMINADORA
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM SAÚDE E AMBIENTE, NA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO SAÚDE E AMBIENTE.

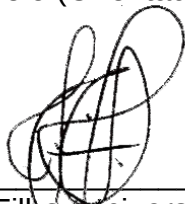
Aprovada por:



Prof. Dr. Rubens Riscala Madi (Orientador - Universidade Tiradentes)



Profa. Dra. Cláudia Moura de Melo (Orientadora - Universidade Tiradentes)



Prof. Dr. Henrique Ortêncio Filho (Universidade Estadual de Maringá)



Dra. Verónica de Lourdes Sierpe Jeraldo (Universidade Tiradentes)

Dedico estes árduos anos à minha mãe, Gleide Selma dos Santos e ao meu já falecido pai, Antonio Ribeiro Bomfim. Agradeço por todos os incentivos e esforços empregados em minha construção social e intelectual.

“A natureza é a única coisa para a qual
não há substituto.” Annie Frank

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe que me ajudou estando presente nos bons e maus momentos, me apoiando e me incentivando a continuar.

Sem a aceitação do meu orientador, Dr. Rubens Riscala Madi, nada disso teria sido possível. Obrigado pelas broncas, cobranças, mas principalmente por ter sido muito competente, estando sempre disposto a me ajudar, dispondo de seu conhecimento, e colocando em prática todo o seu lado professor.

A minha segunda orientadora Dr.^a Cláudia Moura de Melo, que dispôs do seu tempo para me auxiliar e incentivar sempre que preciso.

Aos amigos de laboratório, pelas sugestões, amizade e por ajudar aguentar todo o processo realizado.

E por fim, agradeço a banca de qualificação e defesa, professores Henrique Ortêncio Filho e Verónica de Lourdes Sierpe Jeraldo, que dispuseram de seu tempo para comigo, e foram fundamentais na finalização desse trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – PROSUP-CAPES.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3 REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 Impactos das rodovias sobre a fauna de vertebrados	5
3.2 Ecologia de estradas	6
3.3 Variáveis associadas ao atropelamento de fauna em rodovias	7
3.3.1 Atratividade	7
3.3.2 Sazonalidade	7
3.3.4 Alterações da paisagem e efeito de barreira	7
3.4 Medidas mitigatórias	8
4 MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1 Áreas de estudo	10
4.2 Coleta de dados	11
4.3 Índices ecológicos e análise espacial	12
4.4 Avaliação do conteúdo gastrointestinal	13
4.5 Autorização e registro	14
5 RESULTADOS	15
5.1 Artigo 1 - Identificação de <i>hotspots</i> de atropelamento de fauna silvestre em estradas que cruzam Unidades de Conservação no estado de Sergipe, Brasil	16
5.2 Artigo 2 - Registro de contaminação inorgânica em aves atropeladas no Nordeste brasileiro	36
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS	51
Anexo I - Autorização para atividades com finalidade científica – SisBio	52
Anexo II – Comprovante de Cadastro SisGen	53

RESUMO

Apesar da importância das rodovias no desenvolvimento humano, pode-se identificar diversos tipos e níveis de impacto ambiental, que vão desde a perda de vegetação e fragmentação dos habitats, até o atropelamento da fauna silvestre. Apesar de recente no Brasil, os estudos sobre a fauna atropelada e toda a sua problemática, vem sendo ampliado e dados anuais indicam um aumento constante nas taxas de atropelamentos. Partindo-se da hipótese que as medidas mitigadoras adotadas em rodovias ajudam a reduzir a frequência de atropelamentos de fauna, este trabalho teve por objetivo avaliar a dinâmica destes atropelamentos em duas rodovias que atravessam Unidades de Conservação (UC) no estado de Sergipe, determinando os pontos de agregação de atropelamentos no entorno dessas áreas e determinar a contaminação por plástico no conteúdo estomacal de aves atropeladas em um trecho da BR-235 no estado de Sergipe, Brasil. Entre outubro de 2021 e fevereiro de 2023, foram realizadas 49 campanhas de observação e coleta nas rodovias BR-235, que passa pelo Parque Nacional Serra de Itabaiana e na rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso, que atravessa a Reserva Particular do Patrimônio Natural Mata do Crasto, a segunda, dotada de medidas de mitigação. Os animais encontrados atropelados foram identificados e, quando possível, transportados ao laboratório para realização de análises de conteúdo estomacal, as aves encontradas atropeladas foram identificadas, fotografadas e georreferenciadas com auxílio do aplicativo Timestamp Camera® (Susamp Infotech, Surat, Índia). Todo o material sem identificação da origem, foi pesado e, em seguida, submetido ao processo oxidativo para degradação de material orgânico, o material foi então submetido à análise de Espectroscopia por Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) em espectrômetro Agilent FTIR Cary 630 (Agilent Technologies Inc., Santa Clara USA), sendo identificado como polipropileno. Foram calculados os índices de mortalidade (MI) para animais maiores e menores de 2 kg e o índice de diversidade de Shannon (H'). As espécies com maior frequência de atropelamentos foram *Rhinella jimi*, *Crotophaga ani* e *Cerdocyon thous*. Algumas aves apresentaram ainda contaminação alimentar por resíduos inorgânicos, como microplásticos e metal. O local de encontro dos animais foi georreferenciado, para a determinação dos *hotspots*, de ambas as áreas, sendo $MI < 2kg = 577$ e $MI > 2kg = 41$ e $H' = 2,34$ para a BR-235 e $MI < 2kg = 250$ e $MI > 2kg = 10$ e $H' = 2,27$ para a rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso. Dados anteriores a este estudo, indicam um número maior de atropelamentos na região da BR-235, o que pode ser justificado pela diferença no tráfego de veículos durante os dois estudos. Com o presente estudo, obtiveram-se informações acerca das interações de rodovia e UCs em Sergipe, por meio das taxas de mortalidade anual de fauna nas rodovias, identificando-se assim a necessidade da implantação de medidas mitigadoras mais efetivas para a redução deste tipo de impacto.

Palavras chaves: Biodiversidade; *Hotspots*; Medidas Mitigadoras; Rodovias.

ABSTRACT

Despite the importance of highways in human development, several types and levels of environmental impact can be identified, ranging from the loss of vegetation and fragmentation of habitats, to the trampling of wildlife. Despite being recent in Brazil, studies on roadkill fauna and all their problems have been expanded and annual data indicate a constant increase in roadkill rates. Based on the hypothesis that mitigating measures adopted on highways help reduce the frequency of wildlife being run over, this work aimed to evaluate the dynamics of these collisions on two highways that cross Conservation Units (UC) in the state of Sergipe, determining the points of aggregation of road kills around these areas and determine plastic contamination in the stomach contents of birds run over on a stretch of BR-235 in the state of Sergipe, Brazil. Between October 2021 and February 2023, 49 observation and collection campaigns were carried out on the BR-235 highway, which passes through the Serra de Itabaiana National Park, and on the Adil Dantas do Amor Cardoso highway, which crosses the Mata do Crasto Heritage Private Reserve. Crasto, the second, equipped with mitigation measures. The animals found run over were identified and, when possible, transported to the laboratory to carry out stomach content analysis. The birds found run over were identified, photographed and georeferenced using the Timestamp Camera[®] application (Susamp Infotech, Surat, India). All material without identification of origin was weighed and then subjected to the oxidative process to degrade organic material. The material was then subjected to Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis on an Agilent FTIR Cary 630 spectrometer (Agilent Technologies Inc., Santa Clara USA), being identified as polypropylene. Mortality indices (MI) for animals larger and smaller than 2 kg and the Shannon diversity index (H') were calculated. The species with the highest frequency of road kills were *Rhinella jimi*, *Crotophaga ani*, *Cerdocyon thous* and *Leptodactylus macrosternum*. Some birds also presented food contamination by inorganic residues, such as microplastics and metal. The meeting place of the animals was georeferenced, to determine the hotspots, in both areas, with $MI < 2\text{kg} = 577$ and $MI > 2\text{kg} = 41$ and $H' = 2.34$ for BR-235 and $MI < 2\text{kg} = 250$ and $MI > 2\text{kg} = 10$ and $H' = 2.27$ for the Adil Dantas do Amor Cardoso highway. Data prior to this study indicate a greater number of pedestrian accidents in the BR-235 region, which can be justified by the difference in vehicle traffic during the two studies. With the present study, information was obtained about the interactions between highways and UCs in Sergipe, through annual fauna mortality rates on highways, thus identifying the need to implement more effective mitigating measures to reduce this type of impact.

Keywords: Biodiversity; Highways; *Hotspots*; Mitigating Measures.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de 15 animais são atropelados por segundo, totalizando 475 milhões ao ano nas rodovias federais (CBEE, 2019), o que tem colocado em risco, não só populações de espécies inteiras, como também os próprios condutores (GUMIER-COSTA; SPERBER, 2009). De acordo com Forman e Alexander (1998) e Seiler e Heldin (2006), as mortes de animais silvestres atropelados ultrapassam as mortes causadas por caça ilegal.

A malha rodoviária brasileira atingiu uma extensão total de aproximadamente 1.720.700 quilômetros (CNT, 2023). Os casos de atropelamento de fauna representam um dos maiores impactos negativos causados no meio biótico pelas rodovias, junto com o isolamento e a ameaça de extinção local de espécies a partir do efeito barreira (FORMAN; ALEXANDER, 1998; SALOMÃO, 2019).

Brum *et al.* (2017) e Ramos-Abrantes *et al.* (2018) reforçam a relação dos episódios de atropelamentos de animais silvestres em rodovias e a sazonalidade, haja vista que o número de ocorrências aumenta no período de estiagem devido à escassez de recursos, fato que eleva o esforço de mobilidade dos animais e provoca aumento da taxa de atropelamento em rodovias.

A criação de uma barreira física que fragmenta o habitat (efeito barreira) divide as populações deixando-as vulneráveis a eventos estocásticos de forma negativa (JAEGAR *et al.*, 2005), além de dificultar ou mesmo impedir a movimentação destes animais entre os fragmentos, fato que pode gerar o isolamento de grupos e sua provável extinção (FORMAN *et al.*, 2003; SALOMÃO, 2019).

A atratividade representa outro fator que afeta cada táxon de forma diferente: répteis buscam o calor do asfalto para realizar a termorregulação (SILVA *et al.*, 2019); sementes e grãos que caem de veículos mal vedados e atraem pequenos mamíferos e aves (ERRITZOE *et al.*, 2003; FARIAS FILHO, 2021), além de animais oportunistas e necrófagos (gambás, urubus etc) que são atropelados ao se alimentar das carcaças presentes na pista (FORMAN; ALEXANDER, 1998; BAGER *et al.*, 2016), gerando um ciclo de mortes.

Algumas espécies, como, serpentes, gambás, anfíbios, morcegos, lagartos e aranhas, são consideradas nocivas, repulsivas, perigosas ou pouco carismáticas, assim, não atraem a simpatia dos seres humanos (BERNARDE, 2018), fato que ocasiona episódios de atropelamentos intencionais. Esses animais, por muitas vezes, são atropelados ao serem avistados na pista e, mesmo estando no acostamento, tornam-se alvo de condutores (SECCO *et al.*, 2014).

No contexto brasileiro, as aves desempenham um papel significativo entre os vertebrados atropelados, ocupando uma posição de destaque nos estudos sobre atropelamento de fauna silvestre em diversas regiões do país. Essa estimativa pode estar subestimada devido a alguns fatores, como a maior velocidade na degradação das carcaças desses animais devido ao seu tamanho (HENRY et al., 2021), o que dificulta o registro. Além disso, muitas carcaças podem ficar presas nas estruturas dos veículos, o que também pode contribuir para a subestimação dos dados.

Algumas espécies, principalmente aves, têm sido frequentemente registradas como ingerindo resíduos plásticos, tornando-se um fenômeno comum (SÁ et al., 2018, ZHU et al., 2019). Estudos indicam que aproximadamente 55% das aves que habitam ambientes de água doce e 56% das aves marinhas apresentam plástico e/ou microplástico em seus tratos digestórios (GALL; THOMPSON, 2015; HOLLAND et al., 2016). Essa ingestão de lixo antropogênico pelas aves pode acarretar riscos como perfurações e bloqueios intestinais nos animais (HENRY et al., 2021).

A presença de rodovias em áreas de proteção, segmentam e geram pressões que resultam em inúmeros transtornos para conservação e gestão da biodiversidade, seja por perda e fragmentação dos habitats (FAHRIG, RYTWINSKI, 2009) ou por conta dos altos índices de impactos negativos à biodiversidade (atropelamentos) (SEILER; HELLDIN, 2006; GONZÁLEZ-SUÁREZ *et al.*, 2018; SCHWARTZ *et al.*, 2020; ASCENÇÃO *et al.*, 2021).

Existem várias medidas de mitigação recomendadas para redução dos impactos causados por atropelamentos de animais silvestres. Dentre essas medidas, destacam-se aquelas voltadas para a redução do volume de tráfego e/ou velocidade nas áreas de maior incidência de atropelamentos. Além disso, existem medidas direcionadas à proteção da fauna, como a instalação de sinais de alerta, refletivos, repelentes para afastar os animais das vias, alambrados para direcionar o deslocamento da fauna silvestre e passagens aéreas ou subterrâneas para permitir que os animais atravessem com segurança as estradas (CLEVENGER; FORD, 2010; HUIJSER; MCGOWEN, 2010).

Para implementar efetivamente essas medidas de mitigação e avaliar sua eficácia, é possível realizar uma análise espacial dos atropelamentos. Essa abordagem permite identificar os locais com maior concentração de colisões com animais silvestres, uma vez que os padrões de atropelamentos não são aleatórios, devido ao fato de os animais utilizarem rotas específicas de deslocamento. Com base nessas informações, é possível direcionar estrategicamente as medidas de mitigação para os locais de maior risco, contribuindo assim para a redução dos impactos negativos sobre a fauna e para a preservação do ecossistema (MALO et al., 2004).

Nesse contexto, ao conhecer a efetividade das medidas de mitigação, torna-se viável avaliar a necessidade de aprimoramentos ou implementação de novas estratégias. Além da análise espacial, a análise temporal dos atropelamentos é fundamental para compreender o padrão desses eventos, uma vez que permite investigar variações sazonais. Em certas espécies, a estação reprodutiva ou de recrutamento pode coincidir com a estação chuvosa, ocasionando um aumento nas frequências de atropelamentos nesse período (GRILO et al., 2009).

Compreender os padrões temporais e espaciais dos atropelamentos é crucial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de conservação da fauna e de prevenção de acidentes nas estradas, contribuindo para a proteção da biodiversidade e a segurança no trânsito.

Estudos de ecologia de estradas estão em ascensão, devido aos dados divulgados anualmente e a preocupação com a conservação da biodiversidade. O Parque Nacional (PARNA) Serra de Itabaiana não possui medidas mitigatórias (placas informativas sobre travessia de fauna, passagens subterrâneas e aéreas, redutores de velocidade etc.) ao longo da extensão da rodovia que o atravessa, o que pode contribuir para o aumento do risco de colisões com a fauna silvestre do local.

De acordo com o plano de manejo do PARNA, duas espécies representantes da herpetofauna sergipana possuem status de ameaça segundo IUCN (2023), sendo elas: *Glaucomastix abaetensis* (Reis Dias, Rocha & Vrcibradic, 2002), na categoria “ameaçada de extinção” (EN) e *Tropidurus hygomi* Reinhardt & Lütken (1862), como “vulnerável” (VU), ambas endêmicas, além de duas espécies de pequenos felinos, *Leopardus tigrinus* (Schreber, 1775) e *Leopardus wiedii* (Schinz, 1821), classificadas como EN e “quase ameaçada” (NT), respectivamente. Na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Mata do Crasto, encontram-se populações de *Callicebus coimbrai* Kobayashi e Langguth, 1999, o macaco-guigó, endêmico de Sergipe e da Bahia, classificado como EN (IUCN, 2023). Além disso, a rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso, que atravessa a RPPN, apresenta medidas mitigadoras ao longo de toda a extensão que atravessa a UC, servindo de comparativo entre as duas áreas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a dinâmica de atropelamentos de fauna entre duas rodovias, sob administração federal e estadual, e as respectivas áreas de preservação que cortam no estado de Sergipe.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar a fauna atropelada e os respectivos pontos de maior número de registros de atropelamentos nos trechos selecionados das duas rodovias;
- Identificar a influência da sazonalidade nos atropelamentos;
- Analisar o conteúdo estomacal dos animais atropelados recolhidos em bom estado de conservação.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Impacto das rodovias sobre a fauna de vertebrados

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2023), o Brasil possui a quarta maior malha rodoviária do mundo, com uma extensão total de pouco mais de 1,72 milhão de quilômetros, destes, apenas 213 mil são pavimentados.

A construção de rodovias causa dentre diversos problemas, a fragmentação de habitats, que é uma das maiores causas de extinção de espécies e de perda de diversidade biológica (BUJOCZEK *et al.*, 2011).

A construção de rodovias envolve várias etapas que têm consequências significativas no ambiente. Inicialmente, a remoção da cobertura vegetal ao longo do trajeto da rodovia e em áreas adjacentes resulta em uma considerável perda de biodiversidade (GOMES *et al.*, 2019; SALOMÃO, 2019). A segunda etapa inclui a retirada do excesso de solo e o processo de retaludamento, sendo fundamental para evitar processos erosivos, o acúmulo de sedimentos no terreno e a possível contaminação de lençóis freáticos mais rasos, bem como outros corpos d'água (SALOMÃO, 2019).

Durante a fase operacional da rodovia, a fauna sofre impactos mais visíveis, incluindo a divisão e isolamento de populações devido ao efeito de barreira da rodovia, juntamente com o aumento de atropelamentos (FORMAN; ALEXANDER, 1998; SALOMÃO, 2019). Essa fragmentação prejudica o fluxo gênico entre as populações presentes na região (FERREIRA NETO *et al.*, 2017). Segundo Tenório *et al.* (2021), esse impacto pode ser ainda mais prejudicial quando consideramos a perda do valor genético de uma espécie devido a atropelamentos.

Existem evidências comprovando que a morte das populações de animais causada pelas estradas, afeta negativamente a conservação principalmente de espécies de grande porte devido aos hábitos etológicos e ecologia das espécies, tais como maiores mobilidades, maiores áreas de ocupação, taxa de reprodução baixa ou maturidade tardia (RYTWINSKI; FAHRIG, 2012; GRILO *et al.*, 2020).

A ordem carnívora é especialmente sensível a grandes perturbações ambientais, sua ausência pode resultar na redução da biodiversidade local além de outras mudanças ecológicas (PÉREZ-IRINEO; SANTOS-MORENO, 2010). No geral, estudos supõem que a sobrevivência do adulto, em especial das fêmeas, possa ser o parâmetro chave para garantir a viabilidade das populações (CRAWFORD *et al.*, 2018; HOWELL; SEIGEL, 2019). De acordo com Muzzolon Junior (2014), apesar de catastróficos e enormes, os danos causados pela construção das rodovias ocorrem apenas durante a

fase de execução das atividades (Figura 1), já os impactos causados na fase de operação devem ser muito maiores, pois perduram por tempo indeterminado.

Pode-se destacar, ainda, a problemática relacionada à falta ou fragilidade nos processos de fiscalização e exigência do EIA/RIMA em alguns empreendimentos ou fases específicas, o que acarreta em ainda mais danos para o ambiente, além de atrasos e mudanças nos trechos já delimitados (MELO FILHO, 2021).

De acordo com Lins *et al.* (2018) as Unidades de Conservação (UCs) encontram-se divididas seguindo a lógica que prioriza a relação de critérios de proteção, na qual as unidades de proteção integral apresentem restrição de uso, ocupação e exploração, com maior rigidez em comparação com unidades sustentáveis.

De acordo com Laurance e Balmford (2013), boa parte das UCs possuem interação direta ou indireta com rodovias e estradas, colocando em risco a biodiversidade ali presente.

3.2 Ecologia de estradas

Em meados de 1920, o cálculo das taxas de atropelamento de fauna em países da Europa Ocidental como Holanda, Alemanha, Suíça e França e da América do Norte como Estados Unidos e Canadá, não eram científicos e sim relatórios internos utilizados na resolução de problemas locais (FORMAN *et al.*, 2003). No Brasil, o primeiro trabalho relacionado à ecologia de estradas data de 1988 e descreve a morte de aves atropeladas no Rio Grande do Sul (NOVELLI *et al.*, 1988).

A ecologia de estradas, tem por objetivo estudar os efeitos das estradas sobre as populações e comunidades de animais e plantas, visando a obtenção de medidas que minimizem ou solucionem os efeitos negativos causados (FORMAN; ALEXANDER, 1988; PAULA, 2019). Richard Forman, ecólogo de paisagens, foi o responsável pela popularização do termo “*Road Ecology*”, no fim da década de 90, através de seus estudos (FORMAN; ALEXANDER, 1998). Alguns outros trabalhos haviam sido publicados anteriormente, não denominados desta forma, porém, dentro da mesma linha de pesquisa (STONER, 1925; CLIFFORD, 1959; HODKINSON; THOMPSON, 1997).

Pensando na problemática dos atropelamentos de fauna silvestre, os estudos sobre *hotspots* vêm aumentando consideravelmente nos últimos anos (GONÇALVES *et al.*, 2018; MIRANDA *et al.*, 2020; MEDINAS *et al.*, 2021). Diversos fatores dificultam a identificação desses pontos, uma vez que os atropelamentos não possuem distribuição uniforme, variam ao longo do tempo, espaço, das características estruturais da rodovia e do grupo faunístico estudado (SANTOS *et al.*, 2017; SANTOS; ASCENSÃO, 2019).

Da perspectiva mundial não existe uma estimativa para os atropelamentos de mamíferos, com exceção do Brasil, onde estima-se que cerca de 2 milhões de mamíferos sejam atropelados por ano (GONZÁLEZ-SUAREZ *et al.*, 2018). A espécie *Cerdocyon thous* é líder em registros de atropelamentos no Brasil, seguido por *Didelphis* sp. (SOMBRA JUNIOR, 2018).

3.3 Variáveis associadas aos atropelamentos de fauna em rodovias

Existem diversos fatores que podem influenciar as taxas de atropelamentos em determinadas regiões, resultando no aumento ou na diminuição do número de atropelamentos, são eles:

3.3.1 Atratividade

Segundo Coffin (2007), atrativo é tudo aquilo que pode influenciar na presença de animais na pista, podendo ou não serem de origem antrópica. Corpos d'água e árvores frutíferas podem exercer tal papel para algumas espécies da fauna silvestre, de modo que estes animais serão incentivados à travessia da rodovia, ocasionando muitas vezes no seu atropelamento (MAGIOLI *et al.*, 2019; FREITAS ARAUJO, 2019). Atividades antrópicas também podem gerar atrativos, sementes e grãos que caem de caminhões mal vedados (ERRITZOE *et al.*, 2003; FARIAS FILHO, 2021) e alimentos jogados para fora dos veículos por condutores.

Podem ser citadas, ainda, as carcaças resultado de atropelamentos, que se não removidas agem como fator de atratividade para animais onívoros, carniceiros e oportunistas, tais como urubus e gambás, gerando ciclos de atropelamentos (FORMAN; ALEXANDER, 1998; BAGER *et al.*, 2016; SANTOS, 2016).

3.3.2 Sazonalidade

O clima e a sazonalidade podem influenciar diretamente nas taxas de atropelamento de fauna e nos *hotspots* (CARVALHO-ROEL, 2021) de diferentes formas em cada grupo, o início da primavera é o período inicial das migrações e de maior atividade dos mamíferos devido à reprodução, o que aumenta a movimentação dos animais entre os habitats, as travessias e, conseqüentemente, os atropelamentos (CUNHA *et al.*, 2022). Durante o período chuvoso, répteis e anfíbios têm altas taxas de atropelamentos devido aos eventos de dispersão e de reprodução (ZANK *et al.*, 2019).

3.3.3 Alterações na paisagem e efeito de barreira

Estudos indicam que a paisagem do entorno das rodovias influencia nas taxas de atropelamentos de fauna silvestre diretamente, podendo aumentar ou diminuir os

números de acordo com o tipo de vegetação (LAURANCE *et al.*, 2008; GUIMARAES *et al.*, 2018; FREITAS ARAUJO *et al.*, 2019).

Freitas Araujo (2019) avaliou a influência da paisagem nos índices de atropelamento de mamíferos de médio e grande porte em um trecho de 50km da rodovia GO-164. Foram registrados 61 animais atropelados distribuídos em 11 espécies, não havendo relação entre o número de atropelamentos, o percentual de vegetação nativa e a distância dos cursos d'água. Porém, a riqueza dos mamíferos atropelados demonstrou associação com as métricas de paisagem na distância para os cursos d'água, mostrando uma associação negativa significativa com a riqueza dos animais atropelados quando comparado ao percentual de cobertura vegetal da paisagem.

O efeito barreira é um fenômeno causado pela alteração e fragmentação do ambiente e por gerar uma ou mais barreiras físicas para a fauna silvestre, dificultando assim as interações básicas entre grupos, perda de conectividade dos ambientes, além de alterações comportamentais nas espécies e contaminação por poluição (BUENO *et al.*, 2015; FREITAS *et al.*, 2015; FREITAS ARAUJO *et al.*, 2019). O efeito barreira, contribui diretamente com o isolamento de populações e, até mesmo, com a extinção local de espécies (FORMAN; ALEXANDER, 1998; SALOMÃO, 2019).

3.4 Medidas mitigatórias

As medidas mitigadoras, tem por objetivo a redução dos impactos causados pela rodovia, promovendo maior segurança na travessia da fauna silvestre e na conscientização ambiental dos condutores. Dentre todas as medidas existentes as principais são as placas de redução de velocidade e sinalização de travessia de animais silvestres (KHALILIKHAH; HEASLIP, 2017). Quando embasadas por estudos e acompanhamento profissional, as medidas de mitigação geram impactos positivos para a fauna local, reduzindo de forma significativa o número de atropelamentos.

De acordo com estudo realizado por Sobanski (2016), na BR-262, redutores de velocidade eletrônico reduziram em 50% as taxas de atropelamento em distâncias de até 500 metros do dispositivo.

Em estudo similar, Plante *et al.* (2019), avaliam a influência de paisagem e cercas no atropelamento de mamíferos de pequeno e médio porte no Quebec, após a ampliação de uma rodovia que corta uma reserva ambiental e faz fronteira com uma floresta. Como resultado observou-se maior significância no número de atropelamentos ao final das cercas, o que sugere um tamanho menor do que o necessário nas cercas. Este estudo esclarece o termo “*fence-end-effect*” (efeito fim de cerca) causado aos animais caminharem paralelamente até o final da cerca, sendo atropelados durante a

travessia, os autores associam ainda os atropelamentos com a paisagem, pois a maior parte dos atropelamentos ocorreu próximo as áreas de floresta.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Áreas de estudo

A rodovia BR-235 possui 2.093 km, liga a capital Aracaju, SE, ao município de Novo Progresso, PA, atravessando os estados da Bahia, Pernambuco, Piauí, Maranhão e Tocantins¹. O trecho que transpõe o estado de Sergipe possui, aproximadamente, 120 quilômetros, passando por sete municípios até o estado da Bahia. As coletas foram realizadas no trecho de 37 km entre a capital Aracaju (marco zero) e o município de Itabaiana, onde se localiza o PARNA Serra de Itabaiana.

Situado no agreste sergipano, o PARNA Serra de Itabaiana foi instituído pelo Decreto s/nº de 15 de junho de 2005, possuindo uma área total de 8.024,79 hectares (ICMBIO, 2005), com clima tropical e verão seco (KÖPPEN; GEIGER, 1928) e predominância do bioma Mata Atlântica. O PARNA Serra de Itabaiana abrange os municípios de Areia Branca, Laranjeiras, Campo do Brito, Itabaiana e Itaporanga D'ajuda, além de possuir três UCs: a Serra do Cajueiro, Serra Comprida e a Serra de Itabaiana (a maior delas). O trecho da BR-235 que corta o PARNA possui uma extensão de cerca de 3,4 quilômetros (Figura 2), ligando o município de Areia Branca ao município de Itabaiana.

A rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso, também conhecida como rua da estância ou rua Floriano Peixoto, liga o município de Santa Luzia do Itanhy ao povoado do Crasto, com cerca de 6,9 km de extensão, atravessando a RPPN Mata do Crasto. Apresenta redutores de velocidade, travessia subterrânea e aérea para fauna, além de placas sinalizadoras no trecho de, aproximadamente, 2,3 km, que atravessa a Unidade de Conservação (Figura 2). Distante cerca de 75km da capital sergipana, a Mata do Crasto é a maior reserva de Mata Atlântica de Sergipe, instituída como RPPN, em 10 de agosto de 1989 (SOUZA, 2003). A reserva possui, aproximadamente, 700 hectares sendo conhecida por abrigar populações do primata endêmico *C. coimbrai*, denominado popularmente como Guigó.

¹ DNIT: site de informações sobre as rodovias

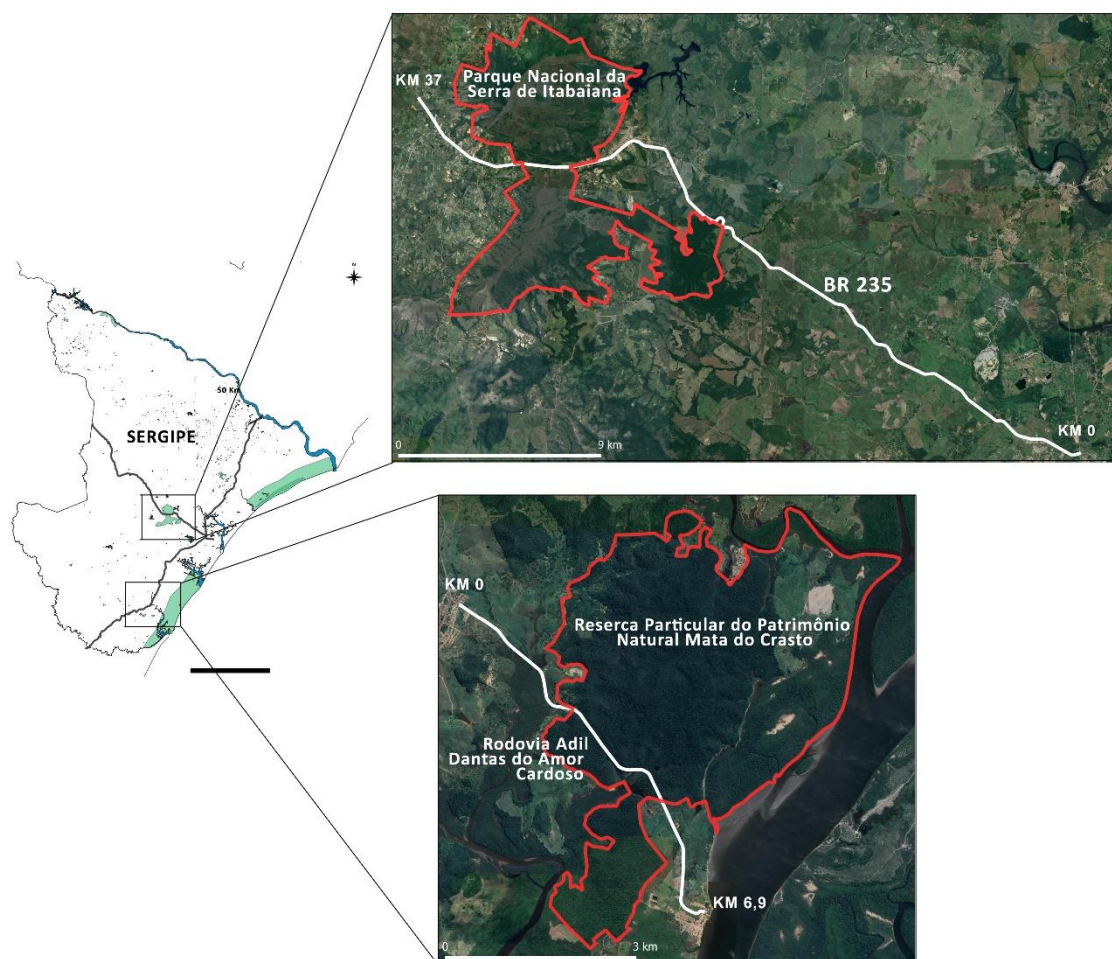


Figura 2. Imagem superior: Parque Nacional da Serra de Itabaiana (linha vermelha) e BR – 235 (linha branca), SE, Brasil. Imagem inferior: RPPN Mata do Crasto (linha vermelha) e rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso (linha branca), SE, Brasil.

4.2 Coleta de dados

A coleta dos dados foi realizada mensalmente, entre novembro de 2021 e fevereiro de 2023, sendo distribuída em campanhas semanais, com duas visitas em cada local de coleta, sempre nas primeiras horas do dia às segundas e terças-feiras e aos sábados e domingos.

Ambos os trechos amostrados estão cercados por fragmentos de Mata Atlântica e áreas antropizadas (pastagens, residências, plantações de cana, milho, entre outros), e foram percorridos de motocicleta, sob velocidade entre 20 e 60km/h (OLIVEIRA *et al.*, 2021)

Os animais encontrados atropelados foram identificados, fotografados e georreferenciados com auxílio do aplicativo Timestamp Camera® (Susamp Infotech, Surate, Índia). As carcaças que não apresentaram esmagamento e estado de decomposição avançado, foram acondicionadas em saco plástico zip e transportadas ao laboratório em bolsa térmica para análise parasitológica e de conteúdo estomacal.

Animais que apresentaram esmagamento ou avançado estado de decomposição não foram considerados para análise, apenas para registro.

A identificação dos animais foi realizada até o menor grau taxonômico possível, com o auxílio de guias específicos para cada grupo: Segalla *et al.* (2021) para anfíbios; répteis, de acordo com Costa & Bérnills (2018); aves, conforme Pacheco *et al.* (2021) e Reis *et al.* (2011), para mamíferos. As identificações foram realizadas no local, quando possível, ou após o transporte das carcaças ao laboratório.

4.3 Índices ecológicos e análise espacial

Foi calculado o índice anual de mortalidade (MI), com auxílio das equações adaptadas por Bagatini (2006), de acordo com o porte do animal:

$$\text{Animais abaixo de 2kg: } \frac{\text{N}^\circ \text{ de registros} \times 365}{\text{N}^\circ \text{ de dias de coleta}}$$

$$\text{Animais acima de 2kg: } \frac{\text{N}^\circ \text{ de registros} \times 365}{4 \times \text{N}^\circ \text{ de dias de coleta}}$$

As equações levam em consideração o tempo de permanência das carcaças na pista. A carcaça de animais maiores tende a passar, até, quatro vezes mais tempo na estrada (BAGATINI, 2006; BATISTA, 2021).

Para verificar a diversidade entre as espécies de animais atropelados, foi calculado o índice de diversidade Shannon (H'), que é a medida do grau médio de “incerteza” no prognóstico relativo sobre qual espécie pertence um indivíduo em uma escolha ao acaso, em uma coleção de várias espécies e indivíduos. A média de incerteza aumenta conforme o número de espécies na amostra aumenta e a distribuição dos indivíduos entre as espécies torna-se uniforme. A diversidade é igual a zero se apenas uma espécie ocorre na amostra e é máxima quando todas as espécies são representadas pelo mesmo número de indivíduos, isto é, em perfeita distribuição uniforme de abundância (LUDWIG; REYNOLDS, 1988). O índice de diversidade de Shannon é baseado na abundância proporcional das espécies contidas na amostra e é dado por:

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \log p_i$$

Onde:

S é o número de espécies (riqueza);

N é o número total de todos os indivíduos;

p_i é a abundância relativa de cada espécie, calculada pela proporção dos indivíduos de uma espécie dividido pelo número total dos indivíduos na comunidade (n_i/N), sendo n_i o número de indivíduos em cada espécie;

O estimador bootstrap foi utilizado para determinar a incerteza em torno da estimativa de parâmetro populacional. O estimador é baseado na repetição da amostragem, onde múltiplas amostras são obtidas a partir da original, permitindo simular e distribuir a probabilidade do estimador. Foram geradas 100 randomizações com intervalo de confiança de 95% para o estimador bootstrap e para o índice de diversidade de Shanon, sendo utilizado o software EstimateS (Version 8.2).

Foi calculado o coeficiente de correlação de Spearman para verificar a relação entre a frequência de atropelamentos e os períodos de seca e chuva, adotando-se um nível de significância de 5%.

A curva de acúmulo de espécies foi utilizada para a ilustração da relação entre esforço amostral e número de espécies observadas, servindo para estimar a riqueza de espécies em determinada área e avaliar a eficiência da amostragem (UGLAND et al., 2003), utilizando o software Microsoft Excel 2016. A construção da curva é feita a partir da adição de cada nova espécie encontrada a cada nova campanha. A forma da curva pode variar a depender de diversos fatores, como o método de amostragem, a escala espacial e temporal além da diversidade da comunidade amostrada.

Para determinação dos períodos de seca e chuva, foram consultados os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), coletados pela estação automática de Aracaju (A409) (INMET, 2022). Os valores de precipitação foram adicionados ao Microsoft Excel 2016, e combinados aos registros de atropelamentos para a construção do gráfico de precipitação e atropelamentos. Os *hotspots* (estimador de densidade de Kernel) em ambas as rodovias, foi elaborado com base no número de episódios de atropelamentos ocorridos, independentemente da espécie identificada. Os mapas foram confeccionados com auxílio do software QGIS v. 3.26.2 (General Public Licence – GNU).

4.4 Avaliação do conteúdo Gastrointestinal

Após a identificação da espécie, da determinação do sexo e da aquisição dos dados biométricos, os animais levados ao laboratório foram submetidos à necropsia, para verificação da composição alimentar. Foram realizadas incisões para abertura da cavidade torácica e abdominal, os órgãos foram removidos e separados em placas de Petri para análise microscópica. As peles dos animais foram tratadas de acordo com

técnicas de taxidermia (KITE; THOMSON, 2006), para a confecção de um catálogo de peles para auxílio na identificação de fragmentos de animais atropelados.

O conteúdo do trato digestório foi removido, analisado e triado com auxílio de estereomicroscópio (Nikon SMZ800 - Nikon Instruments Inc. Melville USA), juntamente com os demais órgãos.

O conteúdo estomacal dos animais foi identificado com base na dieta, sendo aplicada a chave taxonômica de Rafael *et al.* (2012) para insetos e fragmentos encontrados.

Os conteúdos inorgânicos encontrados foram armazenados em microtubos ou em frasco coletor universal, em solução de álcool etílico 70% a depender da dimensão da amostra. A identificação dos polímeros plásticos, foi realizada através do método de espectroscopia de infravermelho (*Fourier-Transform Infrared* - FTIR), no qual foram observados e comparados os números de ondas para confirmação do tipo de polímero plástico. Para os conteúdos metálicos, foram realizados testes de magnetismo e densidade para classificação de metal ferroso e não ferroso.

4.5 Autorização e Registro

O presente trabalho foi submetido ao Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO, obtendo a autorização para atividades com finalidade científica número 79209-1 (ANEXO 1).

O registro no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado – SisGen, foi realizado obtendo código de cadastro ADDECD3 (ANEXO 2).

5 RESULTADOS

Os resultados estão apresentados em forma de artigos:

5.1 Artigo 1 - Identificação de *hotspots* de atropelamento de fauna silvestre em estradas que cruzam Unidades de Conservação no estado de Sergipe, Brasil¹

RESUMO

Os atropelamentos de fauna silvestre estão entre as principais causas da redução de biodiversidade no Brasil, responsável por grande número de mortes de animais todos os anos. O presente estudo teve por objetivo identificar os principais *hotspots* de atropelamento de fauna silvestre em duas rodovias que atravessam duas Unidades de Conservação (UC) do estado de Sergipe e relacionar as variações das frequências de atropelamento com os períodos de seca e chuva durante o ano. Foram realizadas 49 campanhas entre os meses de novembro de 2021 e outubro de 2022, na rodovia BR-235, que margeia o Parque Nacional da Serra de Itabaiana e na rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso que atravessa a Reserva Privada de Patrimônio Natural da Mata do Crasto. Ambos os trechos foram percorridos de motocicleta, sob velocidade máxima de 60km/h. Foram calculados os índices de mortalidade anual (MI), de diversidade de Shannon (H'), a curva de acúmulo (ou acumulação?) de espécies e extrapolação das áreas (*Bootstrap*) e aplicado o estimador de densidade de Kernel para a determinação dos *hotspots* de atropelamento de fauna silvestre para cada rodovia. A rodovia BR-235 apresentou 63 espécimes atropelados ($MI < 2kg = 577$ e $MI > 2kg = 41$; $H' = 2,34$) no período de estudo. A rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso, com passagens de fauna, placas de sinalização, redutores de velocidade e menor influência antrópica, apresentou 15 espécimes atropelados ($MI < 2kg = 250$ e $MI > 2kg = 10$) e $H' = 2,27$. Não foi observada influência do período de seca ou chuva na frequência de atropelamentos e, de maneira geral, a área dentro da UC protegida por medidas de mitigação apresentou um índice de mortalidade menor do que as áreas que não apresentam tais medidas. A determinação do MI e a definição de *hotspots* de atropelamentos de fauna auxiliam na tomada de medidas mitigadoras visando a redução do impacto da presença de rodovias sobre a fauna silvestre em áreas de conservação.

Palavras-chave: Área de proteção, Atratividade, Biodiversidade, Mata Atlântica, Medidas Mitigadoras

¹ Formatado de acordo com a revista *Biological Conservation*

INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário tem considerável importância no Brasil para o deslocamento de pessoas e mercadorias. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2022), foram transportados cerca de 77 milhões de toneladas de milho, soja e farelo no ano de 2022. Além disso, o modal rodoviário é responsável por mais de 90% do transporte de passageiros (ANTT, 2022).

Apesar dos inúmeros benefícios, as rodovias impactam negativamente o ambiente silvestre, dentre os principais impactos, estão os atropelamentos de fauna silvestre, que contribuem com o declínio populacional ou mesmo extinção local de populações menores (Fahrig e Rytwinski, 2009; Kroeger et al., 2022). Os casos de atropelamento de fauna estão entre as principais causas da redução da biodiversidade (Forman e Alexander, 1998; Trombulak e Frissel, 2000; Laurance et al., 2009; González-Suárez et al., 2018).

Dornas et al. (2012) estimam que as taxas de atropelamento de fauna variem, em média, 14,7 ($\pm 44,8$) milhões de animais. No entanto, tais números são subestimados, devido à retirada de carcaças, seja por ação de animais carniceiros (Santos et al., 2016) ou ação antrópica (Medici e Abra, 2019). Traços ecológicos e comportamentos específicos influenciam na vulnerabilidade das espécies (Rytwinski e Fahrig, 2015), a exemplo de mamíferos de grande porte que, por apresentarem alta mobilidade e necessidade de grandes áreas de vida, têm maiores encontros com as estradas, o que aumenta a chance de atropelamentos (Chiarello, 1999).

O bioma Mata Atlântica é o mais ameaçado do país, abrange 15% do território nacional e abriga em média 72% da população brasileira em 17 estados do Brasil (SOS Mata Atlântica, 2021). Apenas 10% desse bioma encontra-se protegido por Unidades de Conservação (UCs), das quais cerca de 72% apresentam rodovias ou estradas dentro de sua área, colocando em risco a biodiversidade ali presente (Alves, 2021).

As medidas de mitigação, são ferramentas utilizadas na redução dos números de atropelamento de animais silvestres. Sendo necessários estudos preliminares para a sua aplicação correta. Tais medidas, podem ser direcionadas a grupos específicos, como anfíbios (Zank et al., 2019), ou com aplicação a vários grupos de forma geral (Caixeta et al., 2019).

A compreensão dos padrões de cada grupo e necessidades de cada rodovia, aliado a a relação entre as medidas de mitigação e a mortalidade de fauna podem fornecer informações valiosas para o desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficazes e a minimização dos impactos negativos das rodovias sobre a biodiversidade no bioma Mata Atlântica e em outros ecossistemas semelhantes.

Este estudo teve por objetivo identificar os principais pontos de atropelamento (*hotspots*) de fauna silvestre em duas rodovias que atravessam UCs do estado de Sergipe, e

relacionar o índice de mortalidade à aplicação de medidas mitigadoras para tais atropelamentos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em duas rodovias associadas a UCs no estado de Sergipe e a presença e ausência de medidas mitigadoras foi utilizada como critério de escolha das duas áreas de estudo.

A rodovia federal BR-235 possui 2093 km, com início no estado de Sergipe e término no estado do Pará, atravessando os estados de Sergipe, Bahia, Pernambuco, Piauí, Maranhão, Tocantins e Pará. No estado de Sergipe, possui aproximadamente 120 quilômetros, cruzando o estado de leste a oeste. As coletas foram realizadas nos primeiros 37 km entre os municípios de Aracaju (quilômetro zero) e Itabaiana, onde se localiza o Parque Nacional (PARNA) da Serra de Itabaiana (10° 46' 43" S 37° 20' 53" O). No trecho de 3,4 km que atravessa a UC não foi registrado nenhum tipo de medida de mitigação para evitar o atropelamento da fauna, além das poucas placas sinalizadoras alertando para a presença de animais silvestres a pista.

A rodovia estadual Adil Dantas do Amor Cardoso (ADAC), que liga o município de Santa Luzia do Itanhy ao povoado do Crasto, possui 6,9 km de extensão e atravessa a Reserva Privada de Patrimônio Natural (RPPN) da Mata do Crasto (11° 22' 26" S 37° 25' 80" O). Apresenta redutores de velocidade, travessia subterrânea e aérea para fauna, além de placas sinalizadoras no trecho do km 2,3 que atravessa a UC.

Ambos os trechos amostrados estão cercados por fragmentos de Mata Atlântica e áreas de influência antrópica (pastagens, residências, plantações de cana, milho, entre outros), e foram percorridos quinzenalmente de motocicleta, sob velocidade entre 20 e 60 km/h (Oliveira et al., 2021). Foram realizadas 30 campanhas na rodovia BR-235 no período de novembro de 2021 a fevereiro de 2023 e 19 na rodovia ADAC, no período de novembro de 2021 a outubro de 2022, totalizando um esforço amostral de 2.220 e 262,2 quilômetros respectivamente. Por serem rodovias de mão dupla, a amostragem foi realizada nos dois sentidos.

As observações e coletas foram realizadas nas primeiras horas do dia, para minimizar a ação de animais carniceiros e a deterioração das carcaças pelo aumento da temperatura e do fluxo de veículos (Pedroso et al., 2021). Todos os animais encontrados atropelados foram fotografados e georreferenciados com o auxílio do Timestamp Camera® (Susamp Infotech, Surate, Índia). Os dados meteorológicos relacionados ao dia da campanha de campo foram obtidos no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia, coletados pela estação automática de Aracaju (A409) (INMET, 2022).

Os animais encontrados foram identificados com base nas chaves para cada grupo taxonômico, sendo Segalla et al. (2021) para anfíbios, Costa and Bérnils (2018) para répteis, Pacheco et al. (2021) para aves e Reis et al. (2011) para mamíferos.

Foram calculadas, para as duas rodovias, as estimativas de mortalidade anual (MI) por quilometro amostrado e de acordo com o porte do animal (Bagatini, 2006). Este índice é calculado a partir da equação: $MI = N \times 365 / \text{dias de coleta}$ para animais abaixo dos 2kg e $MI = N \times 365 / 4 \times \text{dias de coleta}$ para animais acima dos 2kg.

Para a determinação da heterogeneidade da fauna atropelada, foi calculado o índice de diversidade de Shannon (H'), que leva em consideração a riqueza e a equitabilidade das espécies amostradas. Para estimar a riqueza, foi avaliada a curva de acúmulo de espécies e para cálculos de extrapolação foram utilizados os estimadores de Bootstrap. Os dados foram submetidos a 100 randomizações no software EstimateS (Colwell, 2009), adotando-se um intervalo de confiança de 95%.

Foi calculado o coeficiente de correlação de Spearman para verificar a relação entre a frequência de atropelamentos e os períodos de seca e chuva, adotando-se um nível de significância de 5%.

A determinação dos *hotspots* (estimador de densidade de Kernel) em ambas as rodovias, foi elaborada com base no georreferenciamento e na frequência de atropelamentos ocorridos, independente da espécie identificada. Os mapas foram confeccionados com auxílio do software QGIS v. 3.26.2 (General Public Licence – GNU).

O projeto foi submetido ao Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO, obtendo autorização para atividades com finalidade científica, sob o número 79209-1 e registrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado – SisGen, obtendo código de cadastro ADDECD3.

RESULTADOS

Na rodovia BR-235 foram registrados 63 espécimes de animais silvestres atropelados, sendo classificados em quatro classes: Amphibia (38,1% n=24), Reptilia (9,5% n=6), Aves (25,4% n=16) e Mammalia (27,0% n=17) (Tabela 1). Os animais foram identificados no menor nível taxonômico possível, com exceção de três espécimes, um da ordem Testudines e dois da Rodentia, por não apresentarem, por conta dos ferimentos ocasionados pelo acidente, características morfológicas claras e suficientes para a identificação em qualquer nível taxonômico menor.

As três espécies com maior abundância foram: sapo-cururu *Rhinella jimi*, anu-preto *Crotophaga ani* e cachorro-do-mato *Cerdocyon thous* (Fig. 1A, B e C). O trecho amostrado da rodovia BR-235 apresentou uma estimativa de mortalidade anual de $MI_{<2kg}=577$ e

MI>2kg=41 e índice de diversidade de $H'=2,34$ o que indica um nível moderado de diversidade. A curva de acumulo de espécies apresentou o valor de 19, para extrapolação deste valor aplicou-se então média *Bootstrap* resultando um valor de 25,66 (Fig. 2 A).

Na rodovia ADAC foram registrados 15 espécimes de animais silvestres classificados em quatro classes: Amphibia (40,0% n=6), Reptilia (26,7% n=4), Aves (13,3% n=2) e Mammalia (20,0% n=3) (Tabela 1).

As duas espécies com maior abundância foram: rã manteiga *Leptodactylus macrosternum* Miranda-Ribeiro (Fig. 1D), 1926 e o sapo cururu *R. jimi*. Os demais animais coletados/observados apresentaram n=1 (Tabela 1). O trecho da rodovia amostrado apresentou uma estimativa de mortalidade anual de MI<2kg=250 e MI>2kg=10 e índice de diversidade de $H'=2,27$. A curva de acumulo de espécie apresentou o valor de 13 com extrapolação de 14,7 (Fig. 2 B).

Tabela 1

Número (total), frequência (%), Hábito alimentar e Status de conservação de vertebrados silvestres atropelados ao longo dos trechos amostrados das rodovias BR-235, Sergipe, Brasil, e Adil Dantas do Amor Cardoso, Sergipe, Brasil, entre novembro de 2021 e novembro de 2022.

Rodovia BR-235				
Grupo – Espécie	Hábito Alimentar*	N	Frequência relativa	Status de Conservação
Amphibia¹				
<i>Rhinella jimi</i> (Stevaux, 2002)	Insetívoro	24	38,1	LC
Reptilia¹				
<i>Boa constrictor</i> Linnaeus, 1758	Carnívoro	2	3,17	LC
<i>Bothrops leucurus</i> Wagler, 1824	Carnívoro	1	1,59	LC
<i>Epicrates assisi</i> Machado, 1945	Carnívoro	1	1,59	LC
Testudine NI	Onívoro	1	1,59	LC
<i>Tropidurus hispidus</i> (Spix, 1825)	Insetívoro	1	1,59	LC
Aves²				
<i>Athene cunicularia</i> (Molina, 1782)	Carnívoro	1	1,59	LC
<i>Caracara plancus</i> Miller, 1777	Onívoro	1	1,59	LC
<i>Coragyps atratus</i> Bechstein, 1793	Carnívoro	2	3,17	LC
<i>Crotophaga ani</i> Linnaeus, 1758	Onívoro	7	11,11	LC
<i>Gampsonyx swainsonii</i> (Vigors, 1825)	Carnívoro	1	1,59	LC
<i>Nyctidromus albicollis</i> Gmelin, 1789	Insetívoro	1	1,59	LC
<i>Progne chalybea</i> (Gmelin, 1789)	Insetívoro	1	1,59	LC
<i>Tyto furcata</i> (Scopoli, 1769)	Carnívoro	1	1,59	LC
<i>Columbina talpacoti</i> (Temminck, 1810)	Onívoro	1	1,59	LC
Mammalia³				
<i>Callithrix jacchus</i> (Linnaeus, 1758)	Onívoro	3	4,76	LC
<i>Cerdocyon thous</i> Linnaeus, 1766	Onívoro	6	9,52	LC
<i>Didelphis albiventris</i> Lund, 1840	Onívoro	3	4,76	LC
<i>Euphractus sexcinctus</i> (Linnaeus, 1758)	Onívoro	1	1,59	LC

<i>Leopardus pardalis</i> (Lineu, 1758)	Carnívoro	1	1,59	LC
Rodentia NI	Onívoro	2	3,17	LC
<i>Tamandua tetradactyla</i> (Linnaeus, 1758)	Insetívoro	1	1,59	LC
Total		63	100	

Rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso

Grupo – Espécie	Hábito Alimentar	N	Frequência relativa	Status de Conservação
Amphibia¹				
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	Insetívoro	3	20	LC
<i>Rhinella jimi</i>	Insetívoro	3	20	LC
Reptilia¹				
<i>Ophiodes striatus</i> (Spix, 1824)	Carnívoro	1	6,67	LC
<i>Oxyrhopus petolarius</i> (Linnaeus, 1758)	Carnívoro	1	6,67	LC
<i>Oxyrhopus guibei</i> Hoge & Romano, 1977	Carnívoro	1	6,67	LC
<i>Spilotes pullatus</i> (Linnaeus, 1758)	Carnívoro	1	6,67	LC
Aves²				
<i>Crotophaga ani</i>	Onívoro	1	6,67	LC
<i>Rupornis magnirostris</i> (Gmelin, 1788)	Carnívoro	1	6,67	LC
Mammalia³				
<i>Didelphis albiventris</i>	Onívoro	1	6,67	LC
<i>Trinomys</i> sp.	Onívoro	1	6,67	LC
<i>Cerdocyon thous</i>	Onívoro	1	6,67	LC
Total		15	100	

Legendas: * Hábitos Alimentares baseados em Vitt e Caldwell (2014)¹, Sick (1997)² e Reis et al., (2011)³.

** Status de Conservação segundo IUCN (2023), LC – Least Concern (Pouco Preocupante).



Fig. 1. Espécies com maior frequência de atropelamento no trecho amostrado da rodovia BR-235. A – Sapo-cururu *Rhinella jimi*, B – Anu-preto *Crotophaga ani*. C – Cachorro-do-mato *Cerdocyon thous* e no trecho amostrado rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso, D. Rã-manteiga *Leptodactylus macrosternum*, Sergipe, Brasil, de outubro de 2021 a novembro de 2022.

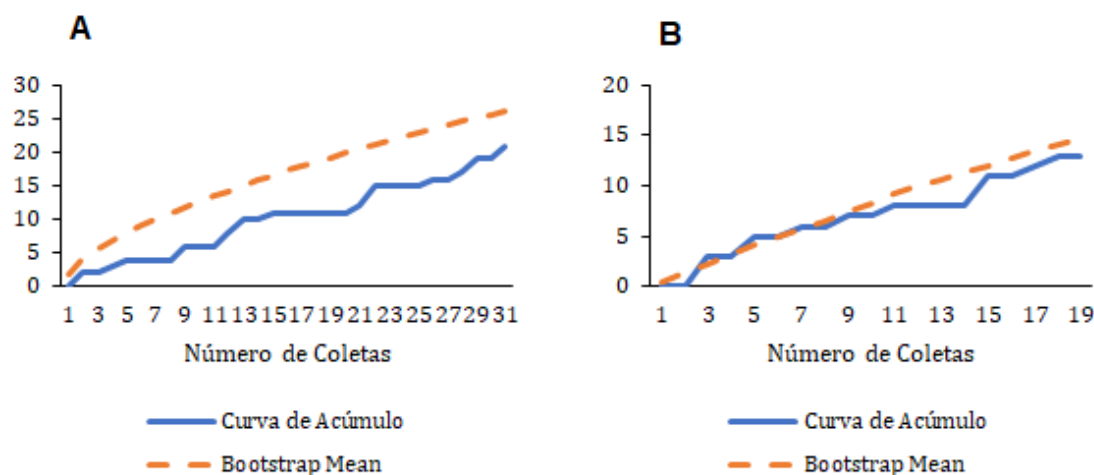


Fig. 2. Curva de extrapolação das coletas realizadas sobre o registro de atropelamentos de fauna silvestre: A) na rodovia BR-235; Bootstrap Mean – 25,66; Curva de acúmulo – 19, no período de outubro de 2021 a fevereiro de 2023; B) na rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso; Bootstrap Mean – 14,7; Curva de acúmulo – 13, no período de outubro de 2021 a outubro de 2022.

Em ambas as rodovias não foi observada uma relação na alteração da frequência de atropelamentos durante os períodos de seca ou chuva (Rodovia BR235: $rs=0,1426$, $p=0,5851$; Rodovia ADAC: $rs=-0,1749$, $p=0,5675$).

A análise da frequência de atropelamentos de animais silvestres nas rodovias BR-235 e ADAC revelou padrões sazonais distintos. Na BR-235, observou-se uma redução significativa nos atropelamentos no período de maio a julho, seguida por um aumento no início do mês de agosto. No entanto, a partir de outubro de 2022 até janeiro de 2023, notou-se a ausência de qualquer registro de atropelamentos de animais silvestres durante as campanhas de monitoramento (Fig. 3 A).

Já na rodovia ADAC, a redução na frequência de atropelamentos ocorreu nos meses de abril e maio, com uma subsequente elevação em junho. Similar à BR-235, a partir de julho de 2022 em diante, não foram registrados atropelamentos de animais silvestres durante as campanhas de acompanhamento. (Fig. 3 B).

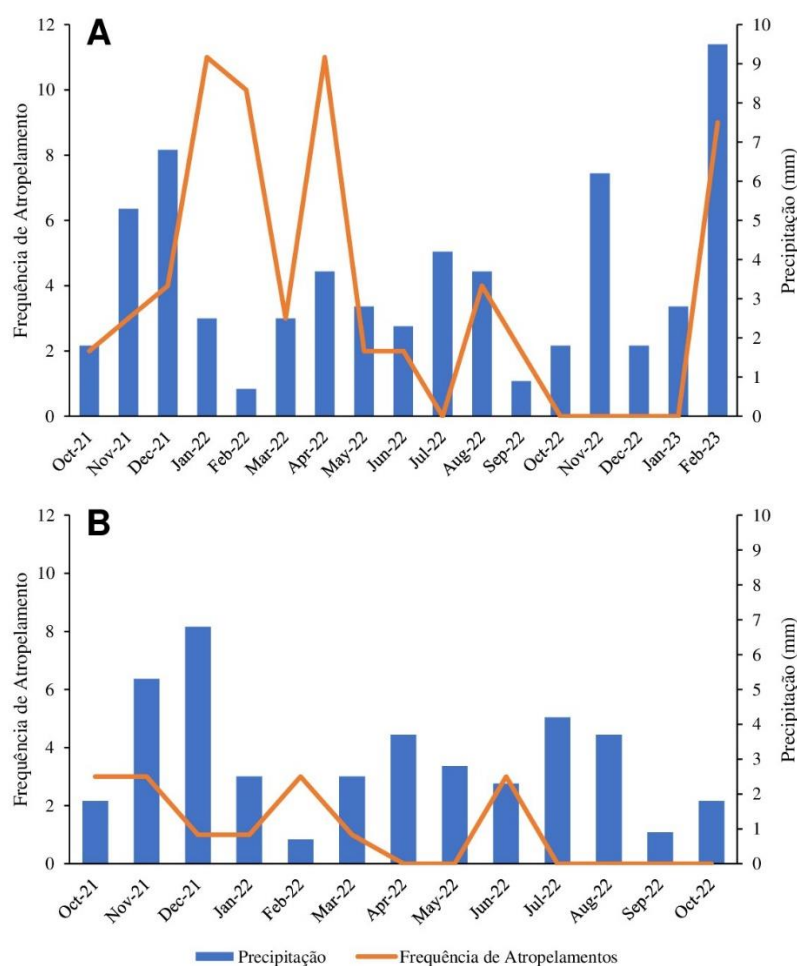


Fig. 3. Precipitação e frequência de atropelamentos: A) no período de outubro de 2021 a fevereiro de 2023, na rodovia federal BR-235. B) no período de outubro de 2021 a outubro de 2022, na rodovia estadual Adil Dantas do Amor Cardoso.

A partir das coordenadas obtidas de cada espécime atropelado, foram gerados pontos de agregação (*hotspots*), nos quais constam os locais nas rodovias com maior frequência de animais atropelados.

Na BR-235, os locais de maior agregação de animais atropelados situaram-se pontualmente no quilômetro 28,3 e no segmento entre os quilômetros 30,9 e 33,3, localizados no início e no final do trecho em que a rodovia atravessa o PARNA da Serra de Itabaiana (Fig. 4 A). Já a rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso, teve maior concentração de registros no trecho entre os quilômetros 0,2 e 1,5 fora da RPPN Mata do Crasto, com baixa agregação entre os quilômetros 3,6 e 4,7 (Fig. 4 B).

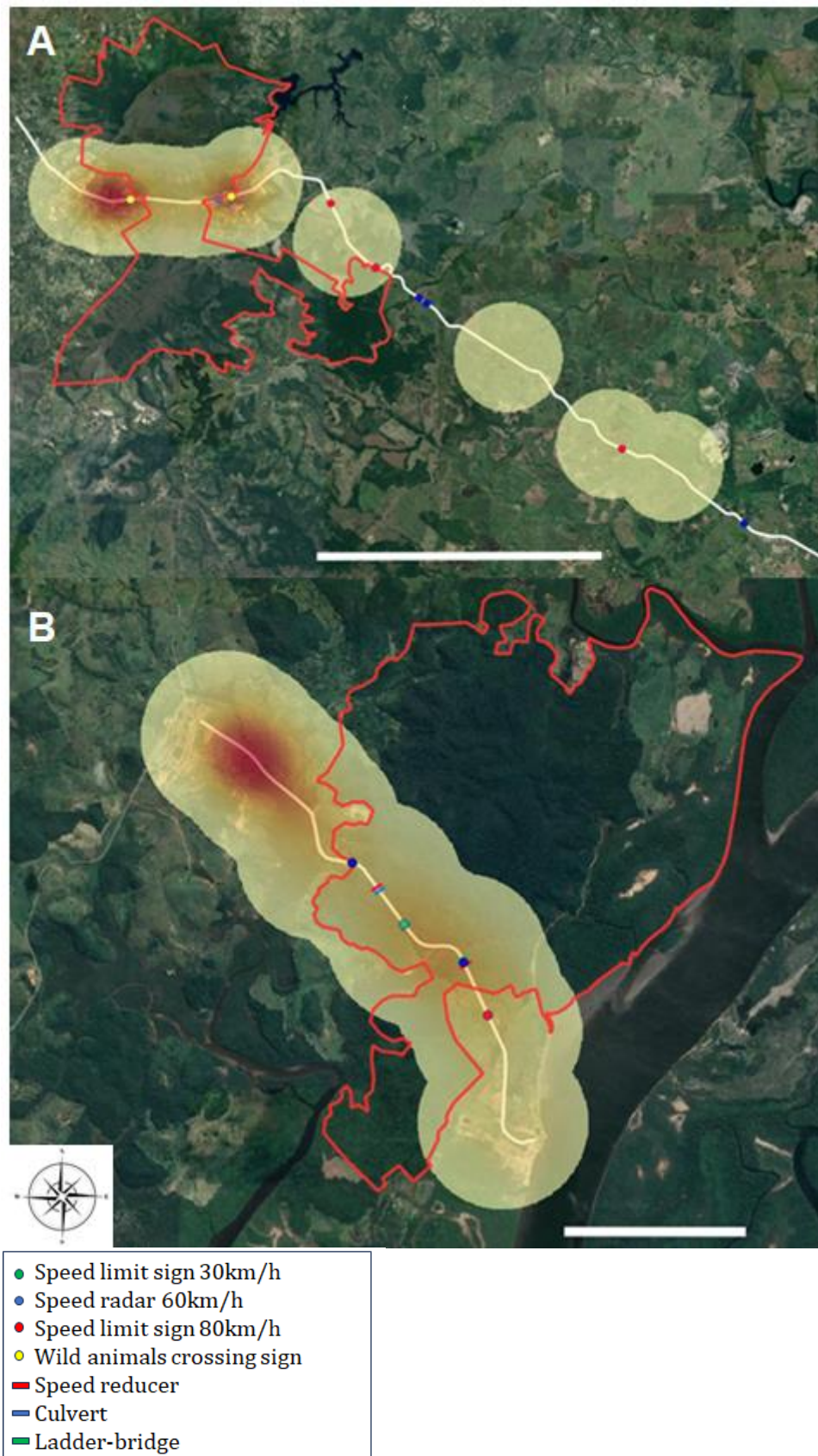


Fig. 4. Hotspots de atropelamento de fauna em Sergipe, Brasil: A) da rodovia BR-235, no período de outubro de 2021 a novembro de 2022. B) da rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso, no período de outubro de 2021 a novembro de 2022.

Durante o período de amostragem na rodovia BR-235, observou-se diversos pontos de atratividade de fauna silvestre que, de forma temporária, podem influenciar na presença dos animais na pista. A maioria dos atrativos eram restos de aves descartados indevidamente, provavelmente por aviários locais, sendo que o forte odor pode ter atraído animais carniceiros, como o *Coragyps atratus* (Fig. 5 A). Em outro trecho, foi observado um saco de aninhagem contendo tiras de pele animal que exalava forte odor pútrido (Fig. 5 B). Houve, ainda, o relato de um acidente com um caminhão de transporte de grãos, que espalhou a carga em um trecho da rodovia.

A rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso apresentou um único registro de atrativo durante o período de coleta, sendo este uma carcaça de bovino em avançado estado de decomposição (Fig. 5 C). No momento da observação, não foram observados animais carniceiros próximo ao atrativo.



Fig. 5. Atrativos de fauna na rodovia BR-235, Sergipe: A) bando de *Coragyps atratus* atraídos por penas e restos de aves descartados nas margens da rodovia. B) Saco com tiras de pele animal em acostamento da rodovia. Atrativos de fauna na rodovia ADAC: C) Carcaça de bovino em avançado estágio de decomposição

DISCUSSÃO

A frequência de atropelamentos registrados nas duas rodovias observadas neste estudo, é menor do que o obtido em trabalhos similares realizados em outras áreas. Batista (2022) registrou, num período de dois anos, cerca de 650 espécimes atropelados em uma rodovia federal que atravessa uma UC na região Amazônica. Neste tipo de estudo, geralmente, o número real de mortes por atropelamento é subestimado devido variáveis, como a remoção das carcaças da pista e a detectabilidade. A remoção das carcaças é determinada por condições climáticas, trânsito de veículos, segurança da pista e atratividade de animais necrófagos, que a depender da dimensão do animal atropelado é subtraído do local de ocorrência (Ratton et al., 2014; Pedroso et al., 2021). A detectabilidade

é diretamente influenciada por características da estrada, velocidade do monitoramento e tamanho dos animais (Coelho et al., 2008; Pracucci et al., 2012).

Um aspecto que pode influenciar na frequência de atropelamentos é o volume e a velocidade do tráfego de veículos. Ramp et al. (2006) afirmam que uma rodovia de tráfego moderado e velocidade alta pode contribuir para a presença de animais na pista, em relação a uma rodovia que apresente um fluxo mais intenso. Durante o presente estudo, pôde-se observar veículos que trafegavam acima dos limites de velocidade permitidos naquela via, principalmente em trechos não monitorados por radar. O *road avoidance effect* ressalta o ruído dos automóveis como o mais importante fator perturbador que faz com que os animais evitem a aproximação das rodovias (Forman e Alexander, 1998; Forman et al., 2003; Coffin, 2007).

Silva et al. (2022) registraram a ocorrência de 75 espécimes atropeladas no trecho da rodovia BR235 que atravessa o Parque Nacional da Serra de Itabaiana, entre agosto de 2020 e junho de 2021. Vale ressaltar que o período amostrado por Silva et al. (op. cit), encontra-se dentro do decurso do distanciamento social, decretado pela OMS em função da pandemia da COVID-19, no qual o fluxo de veículos foi reduzido. A diversidade baixa indicada pelo índice de Shannon para as áreas aqui estudadas, pode estar associada ao fato de que parte do estudo foi realizado durante as primeiras flexibilizações nas medidas de isolamento social da pandemia de COVID-19, época na qual o tráfego de veículos retornava a normalidade. De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2023), a variação do volume médio anual (VMDa) do tráfego de veículos na rodovia BR 235, passou de 10037 veículos por dia em 2019, para 8755 em 2021 e 13667 em 2022 (não há registro para o ano de 2020).

O índice de atropelamento anual aponta que animais abaixo dos 2kg apresentam altas taxas de atropelamento em comparação com animais acima de 2kg, com isso, animais de pequeno porte correm maior risco de serem atropelados, devido sua baixa mobilidade (Batista, 2021), além dos registros destes animais serem subestimados, pois o tamanho reduzido influencia na permanência da carcaça na pista (Teixeira, 2013). Em biomas como o Pantanal, podem apresentar maiores índices para animais acima de 2kg, devido à intensa presença de capivaras, jacarés e outros animais de grande porte (Souza et al., 2015; Curvo, 2021).

De acordo com Huijser et al. (2006), diversos animais, ao sofrerem colisões, não morrem imediatamente na faixa das vias, podendo ir a óbito vários metros depois, contribuindo assim com a queda na detectabilidade. Este fato foi constatado no presente estudo, visto que alguns dos animais registrados estavam fora da faixa da via, já adentrando a área de mata. Foi observado durante as campanhas, a presença de diversas espécies no

acostamento ou já adentrando a faixa de vegetação, o que aponta para uma morte tardia e não imediata de alguns destes animais.

Em ambas as vias, as espécies com maior abundância foram *R. jimi* e *L. macrosternum*. A predominância de *R. jimi* pode estar associada à necessidade da busca por poças de água, lagoas, lagos e rios, os quais são parte essencial do forrageamento e para que ciclo de vida destes animais se complete (Madelaine and Gomes, 2016). *Leptodactylus macrosternum*, são altamente adaptáveis aos mais variados ambientes, porém possuem as mesmas necessidades, utilizando-se de áreas alagadas para alimentação e reprodução (Chaves et al., 2015), o que pode explicar sua presença apenas na rodovia ADAC, que possui uma maior quantidade de corpos d'água na sua proximidade.

Em estudos realizado por Castro *et al.* (2020) em uma área de Mata Atlântica do estado de Minas Gerais, Brasil e por Cavallet *et al.* (2023) em rodovias do estado do Paraná, Brasil, as classes de vertebrados mais afetadas e registradas foram anfíbios e répteis, resultado semelhante ao encontrado nas duas áreas deste estudo. Ambos os estudos citados apresentaram relações entre aumento na pluviosidade e presença de corpos d'água com os pontos de atropelamento de anfíbios, coincidindo com os resultados obtidos no presente estudo.

Os registros realizados durante o período chuvoso, não permitem apontar uma influência entre a precipitação e a diminuição dos atropelamentos na rodovia ADAC, entretanto as duas espécies com maior número de ocorrências nesse período foram *L. macrosternum* e *R. jimi*, ambos anfíbios que possuem seu ciclo reprodutivo associado ao período chuvoso (Haddad et al., 2013).

Secco et al. (2014) relatam ainda a ocorrência de atropelamentos intencionais contra serpentes a partir de estudos conduzidos em rodovias do mesmo estado. Foram observadas carcaças de serpentes atropeladas ao longo dos acostamentos, algumas apresentando elevado grau de esmagamento, característica de reatropelamentos.

A rodovia BR-235 não possui medidas mitigadoras ao longo do trecho que atravessa o PARNA Serra de Itabaiana, o que pode explicar o maior índice de atropelamentos em relação à outra rodovia do estudo. Na fig. 4 A, observam-se hotspots de atropelamento em dois locais providos de sinalização de travessia para animais silvestres. Em contrapartida, as seções de rodovia onde dispositivos de controle de velocidade, como radares, estavam em vigor, não registraram ocorrências de atropelamentos. Importante ressaltar que os eventos de atropelamento citados, encontram-se em área crítica, tratando-se do trecho onde a rodovia corta o PARNA e apesar disso, a velocidade da via é de 60km/h.

A rodovia ADAC, apesar de não ser dotada de dispositivos de controle de velocidade eletrônico (radar), adotam-se medidas de mitigação distintas, como redutores de

velocidade em trechos específicos e passagens de fauna aérea e subterrânea (Fig. 6). Além disso, vale mencionar que os limites de velocidade na rodovia ADAC diferem daqueles da BR-235, inicialmente, a velocidade permitida na rodovia é de 60 km/h, caindo para 30 km/h até o término do trecho que atravessa a RPPN (Fig. 4 B).

Os *hotspots* de ambas as vias estão localizados em áreas de interface entre a UC e a paisagem antropizada. As características da paisagem do entorno das rodovias são fatores que também afetam as taxas de atropelamento pois influenciam na ecologia e etologia das espécies (Coelho et al., 2008; Bueno et al., 2015; Freitas et al., 2015; Araujo et al., 2020). Bueno et al. (2015) e Batista (2021) apresentam associação entre a proximidade de rios, cobertura de vegetação e atividade agrícola com a maioria dos atropelamentos de vertebrados que cruzam áreas de Mata Atlântica.

A paisagem da rodovia ADAC, apresenta formações de solo elevadas, gerando uma barreira física entre os dois lados da via, fato que reduz os casos de travessia de várias espécies nesses trechos. Além disso, essa rodovia dispõe de algumas medidas de mitigação, como passagens aéreas e subterrâneas, o que pode explicar o quantitativo de ocorrências mais baixo em comparação com a rodovia BR-235.

Dodd Jr. et al. (2004) apontam a efetividade das passagens subterrâneas nas taxas de atropelamento de fauna na rodovia que atravessa o Paynes Prairie State Preserve, Florida, em relação à construção de cercas e *guard rails* nas laterais da pista, foram registrados 158 animais atropelados na mesma área onde um ano antes, antes da implementação das medidas, foram registrados 2.411 atropelamentos. Santos et al. (2017) por sua vez, afirmam que as medidas mitigatórias devem ser empregadas em conjunto e com variadas estratégias para uma melhor efetividade e custo benefício (passagens aéreas e subterrâneas, redutores de velocidade, placas de sinalização etc).

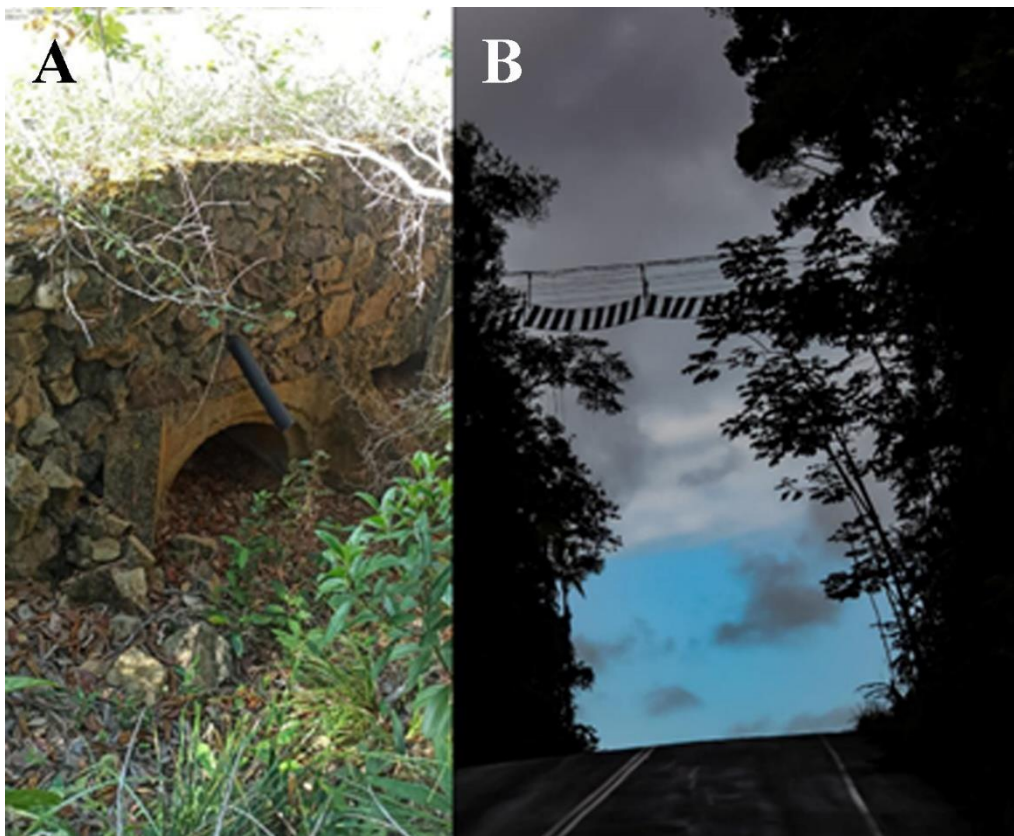


Fig. 6. Medidas mitigadoras observadas na rodovia Adil Dantas do Amor Cardoso, Sergipe, Brasil: A) Passagem subterrânea de fauna . B) Passagem aérea de fauna.

Apesar de nenhuma das espécies encontradas atropeladas apresentar risco de extinção, ambas as áreas contam com espécies que exigem maior atenção, como, Gato-do-mato-pequeno *Leopardus tigrinus* – (Vulnerável - VU), Lagartixa-de-Restinga *Tropidurus hygomi* (Vulnerável - VU) e Calango-do-Abaeté *Glaucmastix abaetensis* – (Ameaçada de extinção - EN), além do Macaco-Guigó *C. coimbrai* (Santos et al., 2015; Caldas et al., 2021).

O descarte de material biológico ao longo da rodovia BR-235, configura um forte atrativo para animais carniceiros e oportunistas, como o gambá-de-orelha-branca (*Didelphis albiventris*), o urubu-de-cabeça-preta (*Coragyps atratus*) ou mesmo o cachorro-do-mato (*Cerdocyon thous*) que, atraídos pelo odor putrefato, podem ocasionalmente ser atropelados. Estas espécies tiveram registro de ocorrência dentro da área entre os quilômetros 10 e 25, locais onde pôde ser observada a maior concentração de descarte de material biológico (restos de aves de criação) provenientes das granjas de criação de frango da região. Souza et al., (2022) em levantamento realizado na rodovia GO 050, em Goiás, Brasil, identificou uma associação entre grandes quantidades de lixo as margens da rodovia com os atropelamentos ocorridos nestes trechos.

Coffin (2007), determina como atrativo tudo que pode influenciar a presença de animais na pista, podendo ou não ter origem antrópica. Estes atrativos promovem uma sucessão de eventos, pois o atropelamento de animais atraídos pelas carcaças geram novos

atropelamentos, que atraem outros carniceiros na pista de rodagem, expondo estes animais a novos atropelamentos (Forman e Alexander, 1998; Santos, 2016).

CONCLUSÃO

O presente estudo mostra que medidas de mitigação empregadas em conjunto em áreas de conservação, podem auxiliar nos baixos índices de mortalidade por atropelamento, como observado no trecho da rodovia ADAC que atravessa a RPPN Mata do Crasto, em contrapartida pudemos observar que, apesar de dispor de placas, as mesmas não são eficazes o suficiente, sendo necessária uma reavaliação da área para determinar as melhores medidas a serem implantadas com base no volume de veículos, características da vegetação local e fauna presente, principalmente nos pontos com maiores índices de atropelamento.

A falta de fiscalização em relação ao descarte de restos de animais, em sua maioria carcaça de aves, pôde ser observada durante o estudo. Tal ação pode contribuir com o aumento dos índices de atropelamento de fauna silvestre na região do Parque Nacional da Serra de Itabaiana, aliado a ausência de redutores de velocidade e passagens aéreas e subterrâneas para a fauna silvestre nos pontos considerados críticos (dentro da área da UC).

REFERÊNCIAS

- ANTT-Agência Nacional de Transportes Terrestre, 2022. Anuário Estatístico dos Transportes de Passageiros. <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/passageiros/anuario-estatistico-dos-transportes-de-passageiro/anuario-estatistico-dos-transportes-de-passageiro> (accessed 10 September 2022)
- Alves, F.A., Teixeira, C.R., Barbosa, L., A. Junior, J., 2021. Overview of roadkills in the Serra da Macaca Park Road (SP-139), state of São Paulo, Brazil. *Iheringia*. 111, e2021030. <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2021030>
- Araujo, L.A.F., Hannibal, W., Costa, R.R.G.F., Rossi, R.F., Claro, H.W.P., 2019. Efeito da paisagem sobre os atropelamentos de mamíferos de médio e grande porte no sul de Goiás, Brasil. *Oecologia Australis*. 24, 164-172. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2020.2401.13>.
- Bagatini, T., 2006. Evolução dos índices de atropelamento de vertebrados silvestres nas rodovias do entorno da Estação Ecológica águas emendadas, DF, Brasil, e eficácia de medidas mitigadoras. Dissertation. Universidade de Brasília.
- Baliton, R., Landicho, L., Cabahug, R.E., Paelmo, R.F., Laruan, K., Rodriguez, R., Visco, R.G., Castillo, A.K.A., 2020. Ecological services of agroforestry systems in selected upland farming communities in the Philippines. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 21(2), 707-717.
- Batista, G., Rascon, N., Rosa, C., 2022. Vertebrados Atropelados na BR-163, Entorno da Floresta Nacional do Tapajós, Pará: Influência dos Padrões Espaciais e Climáticos. *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*. 12, 200-219. <http://doi.org/10.37002/biobrasil.v12i1.1802>.

- Bueno, C., Sousa, C.O.M., Freitas, S.R., 2015. Habitat or matrix: which is more relevant to predict road-kill of vertebrates? *Brazilian Journal of Biology*. 75, 228–238. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.12614>.
- Caixeta, F.F., Torres, R.R., Castro, D.N., Thomé, G.A., Lima, R.I.P., Sousa, A.C.P., ... & Silva, L.L. 2019. Medidas de mitigação ao atropelamento de fauna em rodovias federais concedidas no Brasil. *Heringeriana*. 13 (1), 10–20.
- Caldas, F.L.S., Santos, R.A., Santana, D.O., Faria, R.G., 2021. Filling some of the gap of ecological information's of a Brazilian Vulnerable lizard (*Tropidurus hygomi*). *Cuad. herpetol.* 35 (2), 207–222. [http://dx.doi.org/10.31017/CdH.2021.\(2020-077\)](http://dx.doi.org/10.31017/CdH.2021.(2020-077)).
- Cavallet, I.C.R., Diele-Viegas, L.M., Mariotto, P.B., Lange, R.R. 2023. Padrões de atropelamentos de vertebrados na região sul da Mata Atlântica, litoral do Paraná–Brasil. *Brazilian Journal of Biology*. 83, e263311. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.263311>
- Castro, R.E.E., Santos, T.O., Gomes, G.D.S.O., Latini, R.O., 2020. Atropelamentos de vertebrados em uma área de mata atlântica na rodovia MG-260 em Cláudio, Minas Gerais, Brasil. *NBC-Periódico Científico do Núcleo de Biociências*. 10, 1–13.
- Chagas, R.R.D., Ferrari, S.F., 2011. Population parameters of the endangered titi monkey, *Callicebus coimbrai* Kobayashi and Langguth, 1999, in the fragmented landscape of southern Sergipe, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 71 (3), 569–575. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000400001>
- Chaves, L.S., Silva, V. 2015. Anfíbios Anuros. In: Moura, G. J. B., Nogueira, E., Neto, E.M.C. (Eds.), *Os anfíbios e répteis da Reserva Madeiras, Estado de Alagoas, Nordeste do Brasil*. UFES Editora, Feira de Santana, pp. 15–89.
- Chiarello, A.G., 1999. Effects of fragmentation of the Atlantic Forest on mammal communities in southeastern Brazil. *Biological Conservation*. 89, 71–82. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(98\)00130-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(98)00130-X).
- Climate Data. Clima Aracaju, 2019. <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sergipe/aracaju-2192/#climate-graph>. (accessed 16 May 2023).
- CNT-Confederação Nacional dos Transportes, 2023. Boletim Unificado. <https://www.cnt.org.br/boletins/> (accessed 19 May 2023).
- Coffin, A.W. 2007. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *J. Transp. Geogr.* 15,396–406. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006>.
- Coelho, I.P., Kindel, A., Coelho, A.V.P., 2008. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research*. 54, 689–699. <https://doi.org/10.1007/s10344-008-0197-4>.
- Colwell, R.K. 2009. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. (Version 8.2.).
- Costa, H.C., Bérnils, R.S., 2018. Répteis do Brasil e suas Unidades Federativas: Lista de espécies. *Herpetologia Brasileira*. 7, 11–57.
- Curvo, L.R.V., Alencar, S.B.A., Kreutz, F.I., Barbosa, G.C.R., Costa, C.S., Ferreira, M.W., 2021. Road-kill of wild animals in a Biosphere Reserve in Brazil: threats to biodiversity in the North Pantanal of Brazil. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*. 12, 114–125.
- DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2023. Plano Nacional de Contagem de Tráfego: Contagem Contínua. <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/ContagemContinua>. (accessed 29 May 2023)

- Dodd Jr, C.K., Barichivich, W.J., Smith, L. L., 2004. Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. *Biological conservation*, 118 (5), 619-631. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2003.10.011>.
- Dornas, R.A.P., Kindel, A., Bager, A., Freitas, S.R., 2012. Avaliação da mortalidade de vertebrados em rodovias no Brasil. in: Bager, A. (Ed). *Ecologia de estradas: Tendências e pesquisas*. UFLA. Lavras, Minas Gerais, pp. 139-152.
- Fahrig, L., Rytwinski, T., 2009. Effects of roads on animal abundance: An empirical review and synthesis. *Ecology and Society*. 14, 21.
- Fearnside, P.M., Graça, P.M.L., 2009. BR-319: a rodovia Manaus Porto Velho e o impacto potencial de conectar o arco do desmatamento à Amazônia central. *Novos cadernos NAEA*. 12, 19-50.
- Forman, R.T.T., Alexander, L.E., 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics*. 29, 207-231. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207>
- Forman, R.T., Sperling, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A.P., Cutshall, C.D., et al., 2003. *Road ecology: science and solutions*. Island press, London.
- Freitas, S.R., Oliveira, A.N., Ciocheti, G., Matos, M.V.V., Silva, D.M., 2015. How landscape patterns influence road-kill of three species of mammals in the Brazilian Savanna? *Oecologia Australis*. 18, 35-45. <https://doi.org/10.4257/oeco.2014.18.05>.
- González-Suárez, M., Zanchetta Ferreira, F., Grilo, C., 2018. Spatial and species-level predictions of road mortality risk using trait data. *Global Ecology and Biogeography*. 27, 1093-1105. <https://doi.org/10.1111/geb.12769>
- Haddad, C.F., Toledo, L.F., Prado, C.P., Loebmann, D., Gasparini, J.L., Sazima, I., 2013. *Guia dos anfíbios da Mata Atlântica: diversidade e biologia*. Anolis books, first ed. Brasil.
- Huijser, M.P., Gunson, K.E., Abrams, C., 2006. Animal-vehicle collisions and habitat connectivity along Montana Highway 83 in the Seeley-Swan Valley, Montana: a Reconnaissance. Montana. Dept. of Transportation: Research Programs. <https://doi.org/10.21949/1518134>.
- INMET-Instituto Nacional de Meteorologia, 2022. Banco de dados meteorológicos. <https://bdmep.inmet.gov.br/> (accessed March 2023).
- IUCN-International Union for Conservation of Nature 2022. The International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/> (accessed 25 November 2022)
- Kobayashi, S., Langguth, A., 1999. A new species of titi monkey, *Callicebus Thomas*, from north-eastern Brazil (Primates, Cebidae). *Revista Brasileira de Zoologia*. 16, 531-551.
- Kroeger, S.B., Hanslin, H.M., Lennartsson, T., D'amico, M., Kollmann, J., Fischer, C., Speed, J. D., 2022. Impacts of roads on bird species richness: A metaanalysis considering road types, habitats and feeding guilds. *Science of The Total Environment*. 812, 151478. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151478>.
- Laurance, W.F., Goosem, M., Laurance, S.G.W., 2009. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution*. 24, 659-669. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x>
- Madelaire, C.B., Gomes, F.R., 2016. Breeding under unpredictable conditions: annual variation in gonadal maturation, energetic reserves and plasma levels of androgens and corticosterone in anurans from the Brazilian semi-arid. *General and Comparative Endocrinology*. 228, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2016.01.011>.

- Medici, E.P., Abra, F.D., 2019 Lições aprendidas na conservação da anta brasileira e os desafios para mitigar uma de suas ameaças mais graves: O atropelamento em rodovias. *Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia*. 85, 152-160.
- Oliveira, S.L.; Bastos, R.P.; Lacerda, Kenia A.P., 2021. How does the evaluation speed interfere in the registry number of animated animals?. *Brazilian Journal of Development*. 7, 63045-63065. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-605>
- Pacheco, J.F., Silveira, L.F., Aleixo, A., Agne, C.E., Bencke, G.A., Bravo, G.A., Brito, G.R.R., Cohn-Haft, M., Maurício, G.N., Naka, L.N., Olmos, F., Posso, S., Lees, A.C., Figueiredo, L.F.A., Carrano, E., Guedes, R.C., Cesari, E., Franz, I., Schunck, F., Piacentini, V.Q., 2021. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee – second edition. *Ornithology Research*. 29, 1-122. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5138368>.
- Paiva, A.F., Pereira, I.N.A., 2021. Impactos socioambientais gerados pela implantação da rodovia BR-319. *Brazilian Journal of Development*. 7, 50315-50330. <https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.30045>.
- Pedroso, N., Eufrázio, S., Salgueiro, P., Pinto, T., Mira, A., 2021. Guião de Boas Práticas para Monitorização e Registo de Dados de Mortalidade de Fauna por Atropelamento, Projeto LIFE LINES, Universidade de Évora, Portugal.
- Pracucci, A., Rosa, C.A., Bager, A., 2012. Variação sazonal da fauna selvagem atropelada na rodovia MG 354, Sul de Minas Gerais–Brasil. *Biotemas*, 25, 73-79. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2012v25n1p73>.
- QGIS Development Team, 2022. QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation Project. (Version 3.26.2).
- Ramp, D., Wilson, V.K., Croft, D.B., 2006. Assessing the impacts of roads in peri-urban reserves: road-based fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *Biological Conservation*, 129 (3), 348-359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2005.11.002>
- Ratton, P., Secco, H., Rosa, C.A., 2014. Carcass permanency time and its implications to the roadkill data. *European Journal of Wildlife Research*, 60, 543-546. <https://doi.org/10.1007/s10344-014-0798-z>
- Reis, N.R., Peracchi, A.L., Pedro, W.A., Lima, I.P. *Mamíferos do Brasil*, second ed. Londrina.
- Rytwinski, T., Fahrig, L., 2015. The impacts of roads and traffic on terrestrial animal populations. *Handbook of road Ecology*. 237-246. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch28>
- Santos, R.A.L., Ascensão, F., Ribeiro, M.L., Bager, A., Santos-Reis, M., Aguiar, L. M., 2017. Assessing the consistency of *hotspot* and hot-moment patterns of wildlife road mortality over time. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15 (1), 56-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecon.2017.03.003>.
- Santos, R.A.L., Santos, S.M., Santos-Reis, M., Figueiredo, A.P., Bager, A., Aguiar, L.M., et al., 2016. Carcass persistence and detectability: reducing the uncertainty surrounding wildlife-vehicle collision surveys. *PloS one*. 11, e0165608. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165608>
- Secco, H., Ratton, P., Castro, E., Lucas, P.S., Bager, A., 2014. Intentional snake road-kill: a case study using fake snakes on a Brazilian road. *Tropical Conservation Science*. 7, 561-571. <http://dx.doi.org/10.1177/194008291400700313>.
- Segalla, M.V., Berneck, B., Canedo, C., et al., 2021. List of Brazilian amphibians. *Herpetologia Brasileira*. 10, 121-216. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.4716176>.

- Silva, C., Ruiz-Esparza, J., Azevedo, C.S., Viana-Junior, A.B., Santos, J.C., Ribeiro, A.S., 2022. Seasonal effects on roadkill of wild vertebrates in a stretch of a Brazilian northeast federal highway. *Oecologia Australis*. 26, 547-559. <https://doi.org/10.4257/oeco.2022.2604.03>.
- SOS Mata Atlântica, 2021. Artigos: Mata Atlântica ainda carece de Áreas Protegidas. <https://www.sosma.org.br/artigos/mata-atlantica-ainda-carece-de-areas-protegidas/> (accessed 18 November 2022).
- Souza, J.C., Cunha, V.P., Markwith, S.H., 2015. Spatiotemporal variation in human-wildlife conflicts along highway BR-262 in the Brazilian Pantanal. *Wetlands Ecology and Management*. 23, 227-239. <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9372-4>.
- Souza, L.A.C., Araújo Sousa, E.S., Figueira, S.V., Reis, A.D.B.G., Silva, B.P.A., Alves, F.M., Paranaíba, W.C.R.B., Santos, T.P., Pontes, S.R.L., Oliveira e Silva, G.F., 2022. Levantamento de fauna atropelada na GO 050, trecho Trindade-Campestre de Goiás. *Vita et Sanitas*, 16 (1), 120-132.
- Souza Santos, R.V., Carvalho, C.B., Freitas, E.B., Gueiros, F.B., Faria, R.G., 2015. Uso dos recursos por duas espécies simpátricas de Ameivula (Squamata: Teiidae) em um ecótono de Mata Atlântica-Caatinga. *Acta Biológica Colombiana*, 20, 67-77. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n1.41099>.
- Teixeira, F.Z., Coelho, A.V.P.C., Esperandio, I.B., Kindel, A., 2013. Vertebrate road mortality estimates: Effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*. 157, 317-323. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.09.006>.
- Trombulak, S.C., Frissell, C.A., 2000. A review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*. 14, 18-30. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x>
- Zank, C., Beduschi, J., Pereira, D., Heiermann, D. 2019. Avaliação da mortalidade por atropelamento e proposição de medidas mitigadoras para anfíbios em um hotspot de biodiversidade no Rio Grande do Sul. *Revista Estradas N*, 1.

5.2 Artigo 2 - Registro de contaminação inorgânica em aves atropeladas no Nordeste brasileiro²

Resumo

No Brasil, as aves estão entre os principais grupos em estudos de atropelamento de fauna silvestre, sendo o lixo antropogênico a causa de inúmeras mortes de animais todos os anos. O presente estudo teve por objetivo reconhecer o conteúdo estomacal e as possíveis contaminações por material inorgânico de aves atropeladas em rodovia federal que atravessa o Parque Nacional Serra de Itabaiana no estado de Sergipe, Brasil. Foi realizado o monitoramento e as coletas no período de janeiro a junho de 2022, com motocicleta sob velocidade média de 60km/h. Os animais coletados foram transportados para o Instituto de Tecnologia e Pesquisa e o material plástico foi identificado. O material plástico encontrado foi submetido à análise Espectroscópica Infravermelha por Transformada de Fourier (FTIR), a qual apresentou número de ondas semelhante a um polímero da cadeia do polipropileno, comum em embalagens plásticas. Destacou-se a presença de material plástico e metálico no conteúdo intestinal em *Caracara plancus* e *Crotophaga ani*, que possuem maior tendência a ingerir material plástico, devido à sua dieta generalista. A contaminação por plástico em *Progne chalybea* e *Nyctidromus albicollis*, provavelmente se deu por bioacumulação, a partir do consumo de insetos contaminados por microplástico.

Palavras-Chave: Alimentação, Conteúdo estomacal, Espectroscopia, Inseto, Plástico.

1. Introdução

Os atropelamentos de fauna estão entre os principais impactos negativos de supressão de fauna para o meio biótico, pois coloca em risco populações de espécies inteiras, causando declínio ou mesmo sua extinção [1,2]. Segundo o Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas, estima-se que no Brasil, cerca de 15 animais são atropelados por segundo, totalizando 475 milhões ao ano, dos quais aproximadamente 90% são de pequeno porte. A região nordeste concentra 9% dos atropelamentos totais registrados no país [3].

No Brasil, as aves representam boa parte dos vertebrados atropelados, estando entre os grupos com maior presença nos estudos de atropelamento de fauna silvestre em diversos estados do Brasil [4,5,6,7]. Este quantitativo pode estar subestimado, pois as carcaças desses animais tendem a degradar mais rapidamente devido ao seu tamanho [8], dificultando o registro, além do fato de muitas ficarem presas nas estruturas de veículos.

A ingestão de resíduos plásticos por animais silvestres tornou-se algo comum [9,10]. Estima-se que cerca de 55% das aves com hábitos associados a ambientes de água doce e 56% das marinhas tenham plástico e/ou microplástico em seu trato digestório [11,12]. A ingestão desse lixo antropogênico pode trazer o risco de perfurações e bloqueio intestinal [8]. O presente estudo, teve por objetivo determinar a contaminação por plástico no conteúdo estomacal de aves atropeladas em um trecho da BR-235 no estado de Sergipe, Brasil.

2. Material e métodos

O Parque Nacional da Serra de Itabaiana (10° 45' 59" S; 37° 20' 14" W) possui uma área total de 8.024,79 hectares (ICMBIO, 2005), com clima tropical e predominância do bioma Mata Atlântica [13]. É atravessado pela rodovia federal BR 235 por cerca de quatro quilômetros. A rodovia BR-235 possui 2.093 km, com início no estado de Sergipe e término no estado do Pará. O trecho que transpõe o estado de Sergipe de oeste à leste, possui aproximadamente 120 quilômetros, passando por sete municípios sergipanos até o estado da Bahia.

² Formatado de acordo com a revista *Perspectives in Ecology and Conservation*

As coletas foram realizadas no trecho de 37 km entre os municípios de Aracaju (marco zero) e Areia Branca, onde se localiza o Parque Nacional da Serra de Itabaiana. O trecho amostrado está cercado por fragmentos de Mata Atlântica e áreas antropizadas (pastagens, residências, plantações de cana-de-açúcar, milho, entre outros) e foi percorrido com motocicleta, sob velocidade média de 60km/h [14], duas vezes por mês, entre janeiro e junho de 2022.

As aves encontradas atropeladas foram identificadas [15], fotografadas e georreferenciadas com auxílio do aplicativo Timestamp Camera® (Susamp Infotech, Surate, Índia). As carcaças recolhidas que não apresentaram esmagamento ou estágio de decomposição avançado foram acondicionadas em sacos plásticos lacrados e transportadas, em bolsa térmica para análises biométricas e laboratoriais, ao Instituto de Tecnologia e Pesquisa na Universidade Tiradentes, Campus Aracaju.

Em laboratório, as aves foram submetidas a aferimento biométrico: comprimento total (ponta da cauda ao bico), envergadura (ponta da asa direita a ponta da asa esquerda) e peso, para os quais foram utilizados trena e balança eletrônica. Em seguida, as carcaças foram necropsiadas para a remoção e análise dos órgãos, o conteúdo das moelas foi lavado com água corrente, peneirado e classificado com auxílio de microscópio estereomicroscópio. O conteúdo peneirado foi armazenado em álcool etílico 70%.

A identificação dos insetos e fragmentos contidos no conteúdo estomacal foi realizada de acordo com Rafael *et al.* (2012)¹⁶, a partir da observação de estruturas morfológicas preservadas na digestão. Para os répteis, foi utilizada a chave de identificação de Costa & Bérnills (2014)¹⁷ através da observação dos animais ou partes deles.

Todo o material sem identificação da origem, foi pesado e, em seguida, submetido ao processo oxidativo para degradação de material orgânico. A partir da aplicação de 20 mL de solução aquosa de sulfato de Fe II a 0,005 M, usado como catalisador adicionado ao resíduo sólido, somou-se à mistura 20 mL de peróxido de hidrogênio 35%. O material foi mantido em repouso sob temperatura ambiente por cinco minutos, sendo em seguida misturado em agitador magnético aquecido a 60°C, durante 30 minutos, coberto com vidro de relógio. A solução foi então peneirada para a remoção dos fragmentos de plástico resultantes do processo de oxidação [18]. O material plástico obtido foi submetido à análise de Espectroscopia por Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) em espectrômetro Agilent FTIR Cary 630 (Agilent Technologies Inc., Santa Clara USA), realizada em Laboratório parceiro. Os fragmentos metálicos encontrado após a limpeza do material orgânico aderido, foi pesado e submetido ao teste de magnetismo.

Para a realização do presente estudo, o projeto foi autorizado pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO, sob o Número: 79209-1 e cadastrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado – SisGen (cadastro ADDECD3).

3. Resultados

Foi analisado o conteúdo estomacal de quatro espécies de aves atropeladas no trecho sergipano da rodovia BR 325: Carcará - *Caracara plancus* (Miller, 1777) (Falconiformes, Falconidae), Anu preto - *Crotophaga ani* Linnaeus, 1758 (Cuculiformes, Cuculidae), Andorinha-grande *Progne chalybea* (Gmelin, 1789) (Passeriformes, Hirundinidae) e Bacurau - *Nyctidromus albicollis* (Gmelin, 1789) (Caprimulgiformes, Caprimulgidae). As espécies *C. ani*, *P. chalybea* e *N. albicollis*, apresentaram conteúdo predominantemente composto por insetos, os quais foram agrupados em oito ordens e quatro famílias. Devido à fragmentação dos insetos, não foi possível a identificação ao nível de espécie.

O conteúdo biológico encontrado no estômago do *C. plancus* foi composto, principalmente, por répteis da ordem Squamata, identificados em duas espécies: *Tropidurus*

hispidus (Spix, 1825) e *Amphisbaena vermicularis* (Wagler, 1824), além de fragmentos ósseos de mamíferos, tecido conjuntivo desconhecido e fragmentos de vegetais.

Os resíduos plásticos encontrados nos estômagos de *N. albicollis*, *P. chalybea* e *C. ani* eram semelhantes a filamentos e foram classificados como microplásticos por apresentarem tamanho menor que 5 mm. No entanto, devido ao tamanho reduzido dos fragmentos não foi possível a determinação do peso (Fig. 1A).

Os fragmentos de resíduo plástico, retirados do estômago de *C. plancus*, foram classificados como macroplásticos (acima de 5 mm) (Fig. 1B), com peso de 0,982 mg, e o fragmento metálico se caracterizou como semelhante ao alumínio, não magnético e com peso de 0,0102 mg (Fig. 1C).

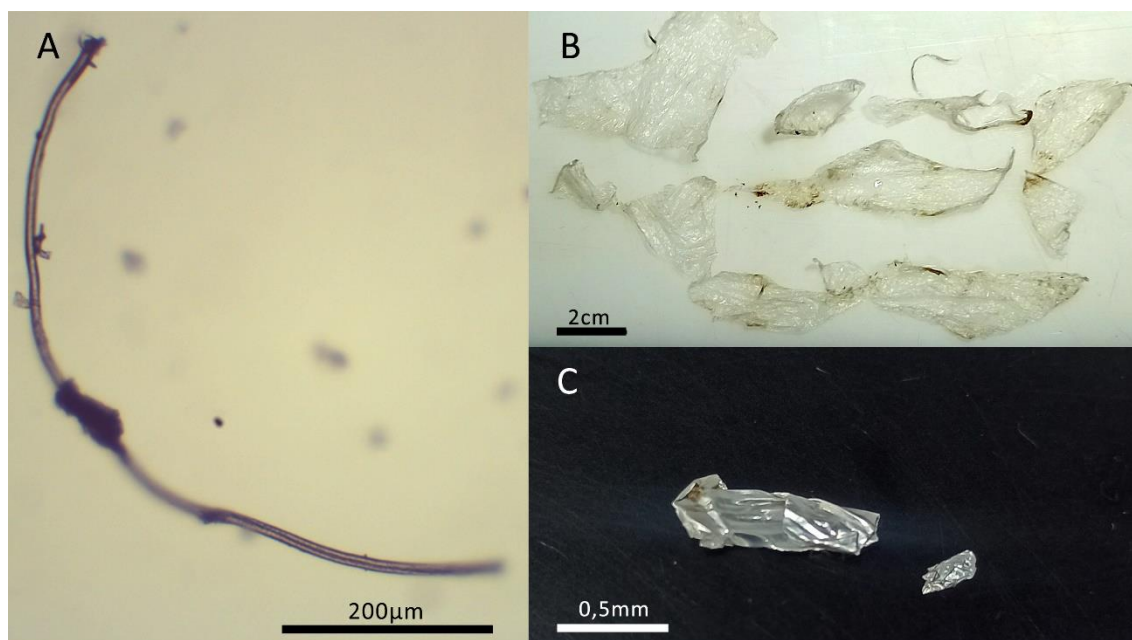


Fig. 1. Resíduos retirados de estômago de *Progne chalybea* e *Caracara plancus* coletados no trecho da rodovia BR-235 em Sergipe, Brasil, entre janeiro e junho de 2022. A) Resíduo de microplástico retirado de conteúdo estomacal de *Progne chalybea*. B e C) Resíduos retirados do estômago de *Caracara plancus*: material plástico (B); fragmento metálico (C).

O resíduo plástico encontrado em *C. plancus*, de acordo com a análise de espectroscopia, apresentou ondas de 3.400 cm^{-1} , $2.200\text{-}2.840\text{ cm}^{-1}$, $1.300\text{-}1.500\text{ cm}^{-1}$, com espectro semelhante ao polipropileno (Fig. 2).

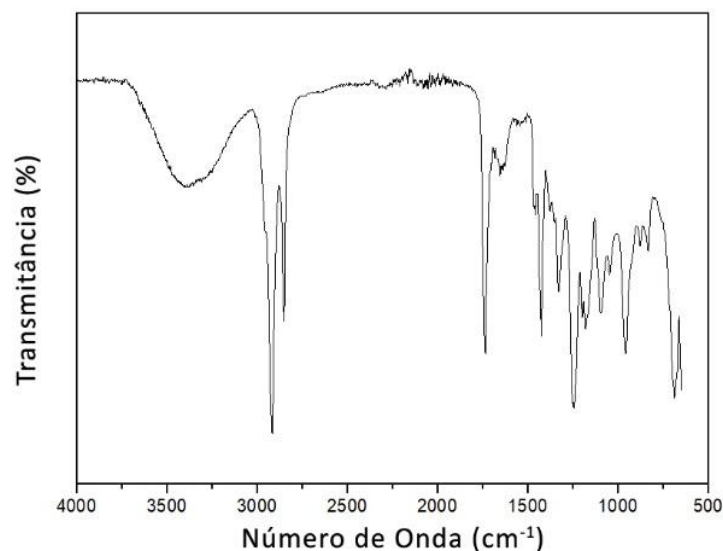


Fig. 2. Número de ondas obtidas do material plástico retirado do estômago de *Caracara plancus* e submetido à Espectroscopia por Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).

4. Discussão

O conteúdo plástico encontrado em *C. plancus* provavelmente foi o principal responsável pela distensão estomacal do animal, devido ao entrelaçamento do plástico e a matéria orgânica presente. A ausência de traumas aparentes no corpo sugere que o plástico pode estar associado ao óbito ou à vulnerabilidade do animal. A coloração dos resíduos plásticos se tornou um tópico importante a ser considerado, uma vez que diversas espécies de animais são predadores visuais, ou seja, forrageiam de maneira seletiva e são atraídos por determinadas cores e brilhos [19,20]. Em vista disso, a matéria plástica azul e/ou transparente representam as mais comumente ingeridas pelos animais [21, 22].

Caracara plancus possui a maior diversificação na dieta dentre todas as 65 espécies de falconídeos, alimentando-se de carcaças, artrópodes [23], vertebrados [24], além de consumir frutos [25]. A ingestão de plástico e dos fragmentos metálicos por *C. plancus* geram diversas suposições, como a presença deste material em áreas comuns de forrageamento [26,27], podendo ser ingerido acidentalmente durante a predação. O plástico transparente pode se confundir com a cor sob a qual o fragmento estiver depositado, podendo ainda ser confundido com ecdise de serpentes. O metal, por sua vez, atrai a atenção da ave devido ao brilho causado pelo reflexo da luz.

O espectro do FTIR, obtido na análise da amostra encontrada no estômago do *C. plancus*, é semelhante ao espectro do polipropileno, apresentado no trabalho de Karthik *et al.* (2018)²⁸. Cerca de 62% de todo produto plástico do mundo é produzido a partir de polipropileno (PP) e Polietileno (PE) [29], o primeiro é um polímero amplamente utilizado em vários segmentos da indústria, por apresentar propriedades químicas, físicas e mecânicas que permitem sua aplicação em tecidos, filmes, garrafas, embalagens de alimentos, produtos automotivos, entre outros [30].

Progne chalybea e *N. albicollis* são aves de hábito alimentar exclusivamente insetívoro. *Progne chalybea* captura insetos na coluna de ar [31,32] em voos curtos ou durante a migração, podendo se alimentar de variados tipos de insetos durante a sua vida [33]. *Nyctidromus albicollis* é uma ave noturna que se alimenta durante voos curtos a partir de um poleiro. Ambas as espécies apresentam bicos curtos e largos, características que permitem o forrageamento de insetos durante o voo [31]. Os filamentos de microplásticos encontrados nos conteúdos estomacais analisados em ambas as espécies, devido ao tamanho reduzido, podem estar associados a insetos que, de alguma maneira (interna ou externa), transportavam o material da área antrópica até a eventual predação.

Alguns estudos explicam a contaminação por microplástico em aves insetívoras através da bioacumulação, uma vez que a produção anual de plásticos variou de 1,5 milhões de toneladas em 1950 para 335 milhões de toneladas em 2016 [9,34], fator que aumenta a dispersão de microplástico entre habitats e facilita a contaminação de insetos e seus predadores.

Ameixa *et al.* (2018)³⁵ categorizam os serviços ecossistêmicos fornecidos por e os efeitos da contaminação destes serviços pelo microplástico. Em estudo desenvolvido por Windsor *et al.* (2019)³⁶ no país de Gales, foram coletados exemplares de Ephemeroptera das famílias Baetidae e Heptageniidae e Trichoptera da família Hydropsychidae, as quais apresentaram concentrações de 0,14 microplásticos por mg de tecido em 50% das amostras estudadas. Pode-se citar ainda os resultados obtidos por Yang *et al.* (2015)³⁷ sobre capacidade das larvas de *Tenebrio molitor* ingerir apenas o plástico poliestireno expandido como única fonte de alimentação.

Atualmente, há insetos que utilizam microplástico como substrato para deposição de ovos [38]. Al-Jabaichi *et al.* (2019)³⁹, observaram larvas de mosquitos que, durante o desenvolvimento em ambiente aquático, ingeriam partículas de microplástico e permaneciam com o material até a fase adulta, transportando assim esse material da água para o ar e o solo, contaminando novos ambientes. Larvas do mosquito *Culex pipiens*, que têm desenvolvimento larval no solo, pode consumir partículas de microplástico de aproximadamente 2µm, que são transferidos durante todo os estádios larvais até o adulto [40].

Morelli (2020)⁴¹ associa o parasitismo social com a especialização de dieta de várias espécies de Cuculiformes. No entanto, *C. ani* não apresenta especialização alimentar, alimentando-se principalmente de insetos maiores como Orthoptera, ovos de outras aves, pequenos vertebrados [42], além de frutos e sementes, no solo [43]. Neste trabalho, esta espécie apresentou filamentos plásticos no conteúdo estomacal e, por ser generalista, o consumo acidental de plástico é possivelmente facilitado.

5. Conclusão

O presente estudo traz resultados acerca da contaminação por polímero plástico em aves pouco estudadas nesse viés, pois o grupo registrado como o mais afetado pela ingestão de plástico ainda é o das aves marinhas. *Caracara plancus* e *C. ani*, por possuírem hábitos alimentares generalistas, estão sujeitas ao consumo de diversos materiais inorgânicos. O polipropileno ingerido pelas aves deste estudo é usado na fabricação de sacos de grãos, fertilizantes, filmes plásticos, embalagens entre outros, o que pode explicar o encontro desta ingesta em área rural. Houve ainda o registro de metais no estômago do *C. plancus*, diversas espécies de aves são atraídas pelo brilho e acabam coletando-os para nidificação ou os ingerindo.

O material plástico encontrado nas espécies *P. chalybea* e *N. albicollis*, alertam para a presença de microplástico em insetos também, sugerindo uma transferência potencial trófica deste material ao longo de toda a cadeia alimentar. O transporte de microplástico entre ambientes, sendo levado do meio aquático até áreas mais distantes por insetos ou mesmo pela ação do vento, e considerando que *P. chalybea* é uma ave migratória e insetívora, faz com que o material plástico possa ser transportado por vários quilômetros contaminando áreas distantes do local de origem após a morte ou a predação da ave.

Com isso conclui-se que há grande necessidade na expansão dos estudos acerca do grau de dispersão de microplástico nos ambientes silvestres e sinantrópicos e como ele se dá, do grau de toxicidade que a contaminação plástica causa em diferentes grupos taxonômicos e sua influência nos ciclos heterotróficos.

Agradecimentos

Os autores agradecem às Agências de fomento CAPES e CNPq pelo suporte financeiro, ao Prof. Dr. Álvaro Silva Lima e Me. Tairan Eutímio dos Santos, do Laboratório de Análise de Alimentos (ITP), pela colaboração nas análises de Espectrofotometria por FTIR e ao Me. Francisco José Zorzenon, da Unidade Laboratorial de Referência em Pragas Urbanas, Instituto Biológico de São Paulo, pela confirmação na identificação dos fragmentos dos insetos.

Referências

- [1] F. Gumier-Costa, C.F. Sperber, Atropelamentos de vertebrados na Floresta Nacional de Carajás, Pará, Brasil, *Acta Amazonica*. 39 (2) (2009) 459-466.
- [2] S.A. Winton, C.A. Bishop, K.W. Larsen, When protected areas are not enough: low-traffic roads projected to cause a decline in a northern viper population, *Endang. Species Research*. 41 (2020) 131-139.
- [3] Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas (CBEE). Sistema Urubu, Available at: <https://sistemaurubu.com.br/dados/>, 2019. (Accessed 7 november 2022)
- [4] L.M. Silva, F.A. Sousa, T.C. Vieira, C.R. Morais, Levantamento de animais vertebrados atropelados em trechos das rodovias MG-352 e MG-190, *Revista GeTeC*. 8 (22) (2019) 42-63.
- [5] J.E.S. Miranda, A. Santos, W.F. Souza, Atropelamento de animais silvestres na rodovia go-060 entre Iporá e Arenópolis, estado de Goiás, *Brazilian Journal of Development*. 7 (5) (2021) 51664-51671.
- [6] A.R.P. Vasconcelos, E.I. Silva, A.V. Carvalho, Avaliação dos atropelamentos de animais silvestres na BR-153, trecho Guaraí-Taboão, *Research, Society and Development*. 10 (15) (2021) e332101523834-e332101523834.
- [7] M.A. Favretto, Atropelamento de vertebrados no Planalto de Santa Catarina, Sul do Brasil, *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*. 12 (2) (2022) 1-8.
- [8] D.A.W. Henry, W.J. Collinson-Jonker, H.T. Davies-Mostert, S.K. Nicholson, L. Roxburgh, D.M. Parker, Optimizing the cost of roadkill surveys based on an analysis of carcass persistence, *Journal of Environmental Management*. 291 (2021) 112664.
- [9] L.C. Sá, M. Oliveira, F. Ribeiro, T.L. Rocha, M.N. Futter, Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: what do we know and where should we focus our efforts in the future? *Science of the total environment*. 645 (2018) 1029-1039.
- [10] L. Zhu, H. Wang, B. Chen, X. Sun, K. Qu, B. Xia, Microplastic ingestion in deep-sea fish from the South China Sea. *Science of the Total Environment*. 677 (2019) 493-501.
- [11] S. C. Gall, R. C. Thompson. The impact of debris on marine life. *Marine pollution Bulletin*. 92(1-2) (2015) 170-179.
- [12] E.R. Holland, M.L. Mallory, D. Shutler, Plastics and other anthropogenic debris in freshwater birds from Canada, *Science of the Total Environment*. 571 (2016) 251-258.
- [13] Unidades de Conservação - Mata Atlântica: PARNA Serra de Itabaiana. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, Available at: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica/unidades-de-conservacao-mata-atlantica/2211-parna-serra-de-itabaiana>, 2005. (Accessed in: 29 July 2020).
- [14] S.L. Oliveira, R.P. Bastos, K.A.P. Lacerda, How does the evaluation speed interfere in the registry number of animated animals?, *Brazilian Journal of Development*. 7 (6) (2021) 63045-63065.

- [15] V.Q. Piacentini, A. Aleixo, C.E. Agne, G.N. Maurício, J.F. Pacheco, G.A. Bravo, *et al.*, Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos, *Revista Brasileira de Ornitologia*. 23 (2) (2015) 91-298.
- [16] A.J. Rafael, G.A.R. Melo, C.J.B. Carvalho, S. Casari, R. Constantino, *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*, Ribeirão Preto, Holos Editora. (2012) 810.
- [17] H.C. Costa, R.S. Bérnills, Brazilian reptiles: List of species, *Herpetologia Brasileira*. 3 (2014) 74-84.
- [18] I.F.N. Maynard, P.C. Bortoluzzi, L.M. Nascimento, R.R. Madi, E.B. Cavalcanti, A.S. Lima, V.L.S. Jeraldo, M.N. Marques, Analysis of the occurrence of microplastics in beach sand on the Brazilian coast, *Science of The Total Environment*. 771 (2021) 144777.
- [19] C.M. Boerger, G.L. Lattin, S.L. Moore, C.J. Moore, Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre, *Marine pollution bulletin*. 60 (12) (2010) 2275-2278.
- [20] Q. Chen, A. Allgeier, D. Yin, H. Hollert, Leaching of endocrine disrupting chemicals from marine microplastics and mesoplastics under common life stress conditions, *Environment international*. 130 (2019) 104938.
- [21] D. Zhang, Y. Cui, H. Zhou, C. Jin, X. Yu, Y. Xu, Y. Li, C. Zhang, Microplastic pollution in water, sediment, and fish from artificial reefs around the Ma'an Archipelago, Shengsi, China, *Science of the Total Environment*. 703 (2020) 134768.
- [22] J. Carlin, C. Craig, S. Little, M. Donnelly, D. Fox, L. Zhai, L. Walters, Microplastic accumulation in the gastrointestinal tracts in birds of prey in central Florida, USA, *Environmental Pollution*. 264 (2020) 114633.
- [23] A.E. Formoso, L. Agüero, D.E.U. Sauthier, Diet of the Southern Caracara in a near-shore insular system in southern Patagonia, Argentina, *Journal of King Saud University-Science*. 31 (4) (2019) 1339-1343.
- [24] M.P. Villalobos, M.A. Bagnó, Avian frugivores feeding on *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) fruits in Central Brazil, *Revista Brasileira de Ornitologia*. 20 (1) (2012) 26-29.
- [25] W.S. Paula, R.N. Souza, E.G. Santos, Fruit consumption and seed dispersal of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) by *Caracara plancus* (Falconidae), *Brazilian Journal of Biology*. 81 (4) (2020) 1127-1128.
- [26] J.G.B. Derraik, The pollution of the marine environment by plastic debris: a review, *Marine pollution bulletin*. 44(9) (2002) 842-852.
- [27] E.M. Foekema, C. Gruijter, M.T. Mergia, J.A. Van Franeker, A.J. Murk, A.A. Koelmans, Plastic in North Sea fish, *Environmental science & technolog*. 47 (15) (2013) 8818-8824.
- [28] R. Karthik, R.S. Robin, R. Purvaja, D. Ganguly, I. Anandavelu, R. Raghuraman, R. Ramesh, Microplastics along the beaches of southeast coast of India, *Science of the Total Environment*. 645 (2018) 1388-1399.
- [29] M. Boenel, G. Vobis, M. Solans, Actinobacterias degradadoras de polipropileno, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 37 (2021) 577-588.
- [30] H.A. Maddah, Polypropylene as a Promising Plastic: A Review, *American Journal of Polymer Science*. 6 (1) (2016) 1-11.
- [31] H. Sick. *Ornitologia brasileira*, Rio de Janeiro: Ed. Nova Fronteira. (1997) 412-414.
- [32] J.A. Helms, A.P. Godfrey, T. Aymes, E.S. Bridge, Predator foraging altitudes reveal the structure of aerial insect communities, *Scientific Reports*. 6 (1) (2016) 1-10.
- [33] J.F. Kelly, E.S. Bridge, W.F. Frick, P.B. Chilson, Ecological energetics of an abundant aerial insectivore, the Purple Martin, *PLoS One*. 8 (9) (2013) e76616.

- [34] H.X. Li, G.J. Getzinger, P.L. Ferguson, B. Orihuela, M. Zhu, D. Rittschof, Effects of toxic leachate from commercial plastics on larval survival and settlement of the barnacle *Amphibalanus Amphitrite*, *Environmental Science & Technology*. 50 (2) (2016) 924-931.
- [35] O.M.C.C. Ameixa, A.O. Soares, A.M.V.M. Soares, A.I. Lillebø, Ecosystem services provided by the little things that run the world, *Selected Studies in Biodiversity*. Intechopen, London. (2018) p.267-302.
- [36] F.M. Windsor, R.M. Riley, C.R. Tyler, S.J. Ormerod, Microplastic ingestion by riverine macroinvertebrates, *Science of the total environment*. 646 (2019) 68-74.
- [37] Y. Yang, J. Yang, W.M. Wu, J. Zhao, Y. Song, L. Gao, *et al.*, Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 1. Chemical and physical characterization and isotopic tests, *Environmental science & technology*. 49 (20) (2015)12080-12086.
- [38] M.C. Goldstein, M. Rosenberg, L. Cheng, Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect, *Biol. Lett.* 8 (2012) 817-820.
- [39] R. Al-Jaibachi, R.N. Cuthbert, A. Callaghan, Examining effects of ontogenic microplastic transference on *Culex* mosquito mortality and adult weight, *Science of the total environment*. 651 (2019) 871-876.
- [40] R. Al-Jaibachi, R.N. Cuthbert, N. Ross, A. Callaghan, Up and away: ontogenic transference as a pathway for aerial dispersal of microplastics, *Biology Letters*. 14 (9) (2018) 20180479.
- [41] F. Morelli, Y. Benedetti, A. Pape Møller, Diet specialization and brood parasitism in cuckoo species, *Ecology and evolution*. 10 (11) (2020) 5097-5105.
- [42] M. Repenning, H.C.P. Basso, J.R. Rossoni, M.M. Krügel, C.S. Fontana, Análise comparativa da dieta de quatro espécies de cucos (Aves: Cuculidae), no sul do Brasil, *Zoologia (Curitiba)*. 26 (3) (2009) 443-453.
- [43] J.M. Hughes. Cuculiformes: Cuculidae. *Coccyzus minor* (Mangrove Cuckoo), in: A. Poole, F. Gill (Eds.), *The Birds of North America* no. 299. Ithaca, Cornell Laboratory of Ornithology. (1997) 1-20.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou duas questões distintas, mas igualmente relevantes, no contexto da conservação da fauna e dos impactos ambientais. Primeiramente, foi demonstrado que a implementação de medidas de mitigação rodoviária em áreas de conservação, exemplificada pelo trecho da rodovia ADAC na RPPN Mata do Crasto, pode efetivamente reduzir os índices de mortalidade por atropelamento da fauna silvestre. No entanto, foram identificadas deficiências nas estratégias existentes, como a baixa eficácia das placas de sinalização em comparação com redutores de velocidade e radares. Portanto, enfatiza-se a necessidade de uma reavaliação abrangente da área, considerando fatores como volume de veículos, características da vegetação e presença da fauna, especialmente nos pontos críticos com altos índices de atropelamento.

Além disso, este estudo também identificou a contaminação por polímeros plásticos em aves silvestres atropeladas, que não possuem hábitos alimentares de origem aquática, expandindo o escopo para além das aves marinhas tradicionalmente estudadas. Foi identificado que espécies com hábitos alimentares generalistas, como *Caracara plancus* e *Crotophaga ani*, são suscetíveis à ingestão de polipropileno, um material utilizado em diversas aplicações humanas. Além disso, a presença de metais no estômago de *C. plancus* indica a atração visual por materiais brilhantes por várias espécies de aves.

Observou-se ainda, a presença de plástico em espécies como *Progne chalybea* e *Nyctidromus albicollis*, sugerindo a possibilidade de transferência trófica de microplásticos ao longo da cadeia alimentar, inclusive por meio de insetos. Portanto, conclui-se que é crucial expandir as pesquisas sobre a dispersão de microplásticos em ambientes silvestres e sinantrópicos. Isso deve incluir uma avaliação mais abrangente do grau de toxicidade que a contaminação plástica causa em diferentes grupos taxonômicos e seu impacto nos ciclos heterotróficos fora do ambiente marinho.

Em síntese, este estudo contribui para o entendimento das estratégias de mitigação de impactos ambientais em áreas de conservação e para a conscientização sobre a contaminação por polímeros plásticos em aves e ecossistemas. Espera-se que os resultados deste trabalho incentivem pesquisas futuras nessas áreas, visando a proteção da fauna silvestre e do meio ambiente em geral.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMIN, O. M. *Marine flora and fauna of the Eastern United States: Acanthocephala*. 1998.
- ASCENSÃO, F.; YOGUI, D. R.; ALVES, M. H.; ALVES, A. C.; ABRA, F.; DESBIEZ, A. L. Preventing wildlife roadkill can offset mitigation investments in short-medium term. *Biological Conservation* 2021; 253: p.108902.
- BAGATINI, T. *Evolução dos índices de atropelamento de vertebrados silvestres nas rodovias do entorno da Estação Ecológica águas emendadas, DF, Brasil, e eficácia de medidas mitigadoras*. [Dissertação]. Brasília: Universidade de Brasília. 2006.
- BAGER, A.; LUCAS, O. S.; BOURSCHEIT A.; KUCZACH A.; MAIA, B. Os Caminhos da Conservação da Biodiversidade Brasileira frente aos Impactos da Infraestrutura Viária. *Biodiversidade Brasileira* 2016; 6(1): 75-86.
- BATISTA, G.; RASCON, N.; ROSA, C. Vertebrados Atropelados na BR-163, Entorno da Floresta Nacional do Tapajós, Pará: Influência dos Padrões Espaciais e Climáticos. *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil* 2022; 12(1): 200-219.
- BENTES, M. K. S.; SOUZA, M. B.; FAVACHO, R. C.; DIAS, G. F. M. Impactos ambientais e expansão de comunidades próximas a rodovia PA 391 (Mosqueiro-PA). *Enciclopédia Biosfera* 2019; 16(29): 939-956.
- BERNARDE, P. S. Animais “não carismáticos” e a Educação Ambiental. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological* 2018; 5(1): 1-7.
- BRUM, T. R.; SANTOS-FILHO, M.; CANALES, G. R.; IGNACIO, R. A. Effects of roads on the vertebrates diversity of the Indigenous Territory Paresi and its surrounding. *Brazilian Journal of Biology* 2017; 78(1): 125-132.
- BUENO, C.; SOUSA, C. O. M.; FREITAS, S. R. Habitat or matrix: which is more relevant to predict road-kill of vertebrates? *Brazilian Journal of Biology* 2015; 75: 228-238.
- BUJOCZEK, M.; CIACH, M.; YOSEF, R. Road-kills affect avian population quality. *Biological Conservation* 2011; 144(3): 1036-1039.
- CARVALHO-ROEL, C. F.; ALVES, G. B.; JÁCOMO, A. T. de A.; MOREIRA, R. A.; TÔRRES, N. M.; SILVEIRA, L. Wildlife roadkill in the surroundings of Emas National Park, Cerrado Biome, Brazil. *Oecologia Australis* 2021; 25(4): 795-806.
- CBEE-Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas *Atropelômetro* [online]. 2019 [acessado em: 14 jun 2020]. Disponível em: <http://cbee.ufla.br/portal/atropelometro/>.
- CLEVENGER, A. P.; FORD, A. T. Wildlife crossing structures, fencing, and other highway design considerations. In: Beckmann JP, Clevenger AP, Huijser MP, Hilty JA. Safe passages: highways, wildlife, and habitat connectivity. Whashington: Island Press; 2010. p.17-49.
- CLIFFORD, H. T. Seed dispersal by motor vehicles. *Journal of Ecology* 1959; 47(2): 311-315.
- CNT-CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. *Boletim* [online]. 2023 [acessado em 21 maio 2023]. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>.

COFFIN, A. W. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of transport Geography* 2007; 15(5): 396-406.

COSTA, H. C.; BÉRNILS, R. S. Répteis do Brasil e suas Unidades Federativas: Lista de espécies. *Herpetologia Brasileira* 2018; 7(1): 11-57.

CRAWFORD, B. A.; MOORE, C. T.; NORTON, T. M.; MAERZ, J. C. Integrated analysis for population estimation, management impact evaluation, and decision-making for a declining species. *Biological Conservation* 2018; 222: 33-43.

CUNHA, G. B.; LIMA, F. V. C. R.; SOARES, M. E. Q.; HIRANO, L. Q. L. Fauna silvestre recebida pelo Centro de Triagem de Animais Silvestres e encaminhada para o hospital veterinário da Universidade de Brasília. *Ciência Animal Brasileira* 2022; 23: 2-8.

ERRITZOE, J.; MAZGAJSKI, T. D.; LUKASZ, R. Bird casualties on european roads - a review. *Acta Ornithologica* 2003; 38(2): 77-93.

FAHRIG, L.; RYTWINSKI, T. Effects of Roads on Animal Abundance: an Empirical Review and Synthesis. *Ecology and Society* 2009; (14)1: 21-41.

FARIAS FILHO, M. S.; SIQUEIRA, C. G. J.; RODRIGUES, S. W.; DUARTE, C. A. Perdas de Grãos em Transporte pelas Br's 135 e 222 no Estado do Maranhão. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade* 2021; 07: 01-20.

FERREIRA NETO, C. A.; CRUZ, G. A. S.; AMORIM, I. C.; BALBINO, V. Q.; MOURA, R. D. C. Effects of fragmentation and anthropic pressure on the genetic structure of *Canthon* (*Peltecanthon*) *staigi* (Coleoptera: Scarabaeidae) populations in the Atlantic Forest domain. *Journal of Insect Conservation* 2017; 21(2): 267-276.

FORMAN, R. T. T.; ALEXANDER, L. E. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 1998; 29: 207-231.

FORMAN, R. T. T.; SPERLING, D.; BISSONETTE, J. A.; CLEVINGER, A. P.; CUTSHALL, C. D.; DALE, V. H.; *et al.* *Road ecology: science and solutions*. Island press; 2003.

FREITAS ARAUJO, L. A.; HANNIBAL, W.; COSTA, R. R. G. F.; ROSSI, R. F.; CLARO, H. W. P. Efeito da paisagem sobre os atropelamentos de mamíferos de médio e grande porte no sul de Goiás, Brasil. *Oecologia Australis* 2019; 24(1): 164-172.

FREITAS, S. R.; OLIVEIRA, A. N.; CIOCHETI, G.; MATOS, M. V. V.; SILVA, D. M. How landscape patterns influence road-kill of three species of mammals in the Brazilian Savanna. *Oecologia Australis* 2015; 18(1): 35-45.

GALL, S. C.; THOMPSON, R. C. The impact of debris on marine life. *Marine pollution Bulletin* 2015; 92(1-2): 170-179.

GOMES, M. M.; VITÓRIA, F. C.; SILVA, E. R.; ALMEIDA, J. R. Avaliação de Impactos Ambientais da duplicação da BR 101 RJ/Norte, trecho compreendido entre o KM 144,2 e 190,3. *Revista Internacional de Ciências* 2019; 09(01): 22-34.

GONÇALVES, L. O.; ALVARES, D. J.; TEIXEIRA, F. Z.; SCHUCK, G.; COELHO, I. P.; ESPERANDIO, I. B.; *et al.* Reptile road-kills in Southern Brazil: Composition, hot moments and hotspots. *Science of The Total Environment* 2018; 615: 1438-1448.

GONZÁLEZ-SUAREZ, M.; FERREIRA, F. Z.; GRILO, C. Spatial and species-level prediction of road mortality risk using trait data. *Global Ecology and Biogeography* 2018; 27(9): 1093-1105.

GRILO, C.; BISSONETTE, J.; SANTOS-REIS, M. Spatial-temporal patterns in Mediterranean carnivore road casualties: consequences for mitigation. *Biol. Conserv.* 2009; 142: 301-313.

GRILO, C.; KOROLEVA, E.; ANDRÁSIK, R.; BÍL, M.; GONZÁLEZ-SUÁREZ, M. Roadkill risk and population vulnerability in European birds and mammals; *Frontiers in Ecology and the Environment* 2020; 18(6): 323-328.

GUIMARAES, J. F.; DA SILVA, C. R.; PERIN, M. A. A. Atropelamentos e influência da paisagem na sobrevivência de mamíferos silvestres de médio e grande porte. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 2018; 9(2): 54-70.

GUMIER-COSTA, F.; SPERBER, C. F. Atropelamentos de Vertebrados na Floresta Nacional de Carajás, Pará, Brasil. *Acta Amazonica* 2009; 39(2): 459-466.

HENRY, D. A. W.; COLLINSON-JONKER, W. J.; DAVIES-MOSTERT, H. T.; NICHOLSON, S. K.; ROXBURGH, L.; PARKER, D. M. Optimizing the cost of roadkill surveys based on an analysis of carcass persistence. *Journal of Environmental Management* 2021. 291: 112664.

HODKINSON, D. J.; THOMPSON, K. Plant dispersal: the role of man. *Journal of Applied Ecology* 1997; 34: 1484-1496.

HOLLAND, E. R.; MALLORY, M. L.; SHUTLER, D. Plastics and other anthropogenic debris in freshwater birds from Canada. *Science of the Total Environment* 2016. 571: 251-258.

HOWELL, H. J.; SEIGEL, R. A. The effects of road mortality on small, isolated turtle populations. *Journal of Herpetology* 2019; 53(1): 39-46.

HUIJSER, M. P.; MCGOWEN, P. T. Reducing Wildlife-Vehicle Collisions. In: Beckmann JP, Clevenger AP, Huijser MP, Hilty, JA. Safe passages. Washington: Island Press; 2010. p.51-74.

ICMBio-Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Unidades De Conservação - Mata Atlântica: Parna Serra De Itabaiana* [online]. 2005. [Acessado em 29 jul 2020]. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica/unidades-de-conservacao-mata-atlantica/2211-parna-serra-de-itabaiana>.

JAEGER, J. A.; BOWMAN, J.; BRENNAN, J.; FAHRIG, L.; BERT, D.; BOUCHARD, J.; et al. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling* 2005; 185(2-4): 329-348.

KHALILIKHAH, M.; HEASLIP, K. Improvement of the performance of animal crossing warning signs. *Journal of Safety Research* 2017; 62:1-12

KITE, M.; THOMSON, R. *Conservation of leather and related materials*. Routledge. 2006.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der erde*. Gotha: verlag justus perthes. *Wall-map 150cmx200cm* 1928; p. 91-102.

LAURANCE, W. F.; CROES, B. M.; GUISSOUEGOU, N.; BUIJ, R.; DETHIER, M.; ALONSO, A. Impacts of roads, hunting, and habitat alteration on nocturnal mammals in African rainforests. *Conservation Biology* 2008; 22(3): 721-732.

LAURANCE, W. F.; BALMFORD, A. A global map for road building. *Nature* 2013; 495: 308-309.

LIMA, L. C.; NETO A. B. B.; SANTOS, C. R. C.; BRAGA, A. N.; NUNES, S. C. T. Análise multitemporal da cobertura vegetal e uso do solo na Ilha de Mosqueiro, Belém-PA. *Revista Agroambiente on-line* 2018; 12(1): 80-88.

LINS, G. A.; BARBOSA, O. R.; ALMEIDA, J. R. Proposta de uma nova metodologia para análise do impacto ambiental do atropelamento de fauna. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 2018; 9(8): 273-281.

MAGIOLI, M.; BOVO, A. A. A.; HUIJSER, M. P.; ABRA, F. D.; MIOTTO, R. A.; ANDRADE, V. H. V. P.; *et al.* Short and narrow roads cause substantial impacts on wildlife. *Oecologia Australis* 2019; 23(1): 99-111.

MALO, J. E.; SUÁREZ, F.; DÍEZ, A. Can we mitigate animal–vehicle accidents using predictive models? *J. Appl. Ecol.* 2004; 41: 701-710.

MEDINAS, D.; MARQUES, J. T.; COSTA, P.; SANTOS, S.; REBELO, H.; BARBOSA, A. M.; MIRA, A.; *et al.* Spatiotemporal persistence of bat roadkill *hotspots* in response to dynamics of habitat suitability and activity patterns. *Journal of Environmental Management* 2021; 277: 1-10.

MELO FILHO, J. M. M.; ESPINDOLA, G. M.; FAÇANHA, A. C. Impactos ambientais decorrentes da instalação do rodóanel na zona periurbana de Teresina-PI. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental* 2021; 10(2): 45-64.

MIRANDA, J. E. S.; MELO, F. R.; UMETSU, R. K. Are Roadkill *Hotspots* in the Cerrado Equal Among Groups of Vertebrates? *Environmental Management* 2020; 65: 565–573.

MUZZOLON JUNIOR, R. Controle Ambiental Em Rodovias. *Revista Técnico Científica Do Crea-PR* 2014; 2: 1-17.

NOVELLI, R.; TAKASE, E.; CASTRO, V. Estudo das aves mortas por atropelamento em um trecho da Rodovia BR 471, entre os distritos da Quinta e Taim, Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Zoologia* 1988; 5(3): 441-454.

OLIVEIRA, S. L.; BASTOS, R. P.; LACERDA, K. A. P. Como a velocidade de avaliação interfere no número de registro de animais atropelados? How does the evaluation speed interfere in the registry number of animated animals? *Brazilian Journal of Development* 2021; 7(6): 63045-63065.

PACHECO, J. F.; SILVEIRA, L. F.; ALEIXO, A.; AGNE, C. E.; BENCKE, G. A.; BRAVO, G. A.; *et al.* Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee – second edition. *Ornithology Research* 2021; 29, 1-122.

PAULA, L. G.; AMARAL, R. R. T.; DE CASTRO, D. N.; CAIXETA, F. F.; THOMÉ, G. A.; SOUSA, A. C. P.; *et al.* Medidas de mitigação ao atropelamento de fauna em rodovias federais concedidas no Brasil. *Herpingeriana* 2019; 13(1): 10-20.

PÉREZ-IRINEO, G.; SANTOS-MORENO, A. Diversidad de una comunidad de mamíferos carnívoros en una selva mediana del noreste de Oaxaca, México. *Acta zoológica mexicana* 2010; 26(3): 721-736.

PLANTE, J.; JAEGER, J. A. G.; DESROCHERS, A. How do landscape context and fences influence roadkill locations of small and medium-sized mammals?. *Journal of environmental management* 2019; 235: 511-520.

RAFAEL, A. J.; MELO, G. A. R. CARVALHO, C. J. B.; CASARI, S.; CONSTANTINO, R. *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. Ribeirão Preto: Holos Editora; 2012.

RAMOS-ABRANTES, M. M.; ABRANTES, S. F. A.; CARREIRO, A. M.; ARAÚJO, D. V. F.; SOUZA, J. G.; LIMA, J. P. R.; *et al.* Vertebrados silvestres atropelados no trecho Campina Grande–Patos da BR-230, Paraíba. *Pubvet* 2018; 12(1): 139-146.

REIS, N.R.; PERACCHI, A.L; PEDRO, W.A.; LIMA, I.P. *Mamíferos do Brasil*. Londrina: Universidade Estadual do Paraná; 2006.

RYTWINSKI, T.; FAHRIG, L. Do species life history traits explain population responses to roads? A meta-analysis. *Biological Conservation* 2012; 147(1): 87-98.

SÁ L. C.; OLIVEIRA, M.; RIBEIRO, F.; ROCHA, T. L.; FUTTER, M. N. Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: what do we know and where should we focus our efforts in the future? *Science of the total environment* 2018; 645: 1029-1039.

SALOMÃO, P. E. A.; SANTOS, J. A. G.; FERREIRA, R. S.; GONÇALVES, B. B.; CARVALHO, P. H. V.; STARICH, R. Impactos ambientais gerados pela construção e operação de rodovias. *Research, Society and Development* 2019; 8(10): 01-24.

SANTOS, R. A. L.; ASCENSÃO, F. Assessing the effects of road type and position on the road on small mammal carcass persistence time. *European Journal of Wildlife Research* 2019; 65(1): 1-5.

SANTOS, R. A. L.; ASCENSÃO, F.; RIBEIRO, M. L.; BAGER, A.; REIS, M. S.; AGUIAR, L. M. S. Assessing the consistency of *hotspot* and *hot-moment* patterns of wildlife road mortality over time. *Perspectives in Ecology and Conservation* 2017; 15(1): 56-60.

SANTOS, R. A. L.; SANTOS, S. M.; SANTOS-REIS, M.; FIGUEIREDO, A. P.; BAGER, A.; AGUIAR L. M. S. Carcass persistence and detectability: Reducing the uncertainty surrounding wildlife vehicle collision surveys. *PLoS ONE* 2016; 11(11): 1-15.

SCHWARTZ, A. L.; SHILLING, F. M.; PERKINS, S. E. The value of monitoring wildlife roadkill. *European journal of wildlife research* 2020; 66(1): 1-12.

SECCO, H.; RATTON, P.; CASTRO, E.; DA LUCAS, P. S.; BAGER, A. Intentional snake road-kill: a case study using fake snakes on a Brazilian road. *Tropical Conservation Science* 2014; 7(3): 561-571.

SEGALLA, M. V.; BERNECK, B.; CANEDO, C.; CARAMASCHI, U.; CRUZ, C. A. G.; GARCIA, P. C. A.; *et al.* Brazilian amphibians: list of species. *Herpetologia Brasileira* 2021; 10(1): 34-36.

SEILER, A.; HELLDIN, J.O. Mortality in wildlife due to transportation. In: Davenport J.; Davenport J.L. *The ecology of transportation: Managing mobility for the environment*. Dordrecht: Springer; 2006. p. 165-189.

SILVA, L. M.; SOUSA, F. A.; VIEIRA, T. C.; MORAIS, C. R. Levantamento de animais vertebrados atropelados em trechos das rodovias MG-352 e MG-190. *Revista GeTeC* 2019; 8(22): 42-63.

SOBANSKI, M.B. *Avaliação do uso de controladores eletrônicos de velocidade como medida de mitigação de atropelamentos de animais silvestres na rodovia BR-262, trecho de Anastácio à Corumbá, Mato Grosso do Sul* [Dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2016.

SOMBRA JUNIOR, C.A. *Caracterização espaço-temporal de atropelamentos de mamíferos silvestres em estradas inseridas no semiárido nordestino* [Dissertação]. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido; 2018.

SOUZA, M. C. DISTRIBUIÇÃO DO GUIGÓ (*Callicebus coimbrai*) no Estado de Sergipe. *Neotropical Primates* 2009; 11(2): 89-91.

STONER, D. The Toll of the Automobile. *Science* 1925; 61(1568): 56-57.

TENÓRIO, J. C. S.; LOPES, A. M.; VILAR, D. C. S. M. M.; DE ARAUJO, B. G.; SOUZA, W. M.; NEVES, R. M. L.; *et al.* Efeitos do clima e sazonalidade nos atropelamentos de *Rhinella jimi*, em duas rodovias do Agreste de Pernambuco. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 2021; 12(4): 142-154.7.

UGLAND, K. I.; GRAY, J. S.; ELLINGSEN, K. E. The species–accumulation curve and estimation of species richness. *Journal of Animal Ecology* 2003; 72(5): 888-897.

VICENTE, J. J.; RODRIGUES, H. D. O.; GOMES, D. C.; PINTO, R. M. Nematóides do Brasil 2ª parte: nematóides de anfíbios. *Revista Brasileira de Zoologia* 1990a; 7: 549-626.

VICENTE, J. J.; RODRIGUES, H. D. O.; GOMES, D. C.; PINTO, R. M. Nematóides do Brasil. Parte III: nematóides de répteis. *Revista Brasileira de Zoologia* 1993b; 10: 19-168.

VICENTE, J. J.; RODRIGUES, H. D. O.; GOMES, D. C.; PINTO, R. M. NEMATÓIDES DO BRASIL. Parte IV: Nematóides De Aves. *Revista Brasileira de Zoologia* 1995c; 12: 1-273.

VICENTE, J. J.; RODRIGUES, H. D. O.; GOMES, D. C.; PINTO, R. M. Nematóides do Brasil. Parte V: nematóides de mamíferos. *Revista Brasileira de Zoologia* 1997d; 14: 1-452.

ZANK, C.; BADUSCHI, J.; PEREIRA, D.; HEIERNMANN, D.; FREIRE, M. D.; COLOMBO, P.; *et al.* Avaliação da mortalidade por atropelamento e proposição de medidas mitigadoras para anfíbios em um *hotspot* de biodiversidade no Rio Grande do Sul. *Revista Estradas* 2019; 24: 26-32.

ZHU, L.; WANG, H.; CHEN, B.; SUN, X.; QU, K.; XIA, B. Microplastic ingestion in deep-sea fish from the South China Sea. *Science of the Total Environment* 2019; 677: 493-501.

ANEXOS

Anexo I - Autorização para atividades com finalidade científica – SISBIO



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 79209-1	Data da Emissão: 24/09/2021 20:31:45	Data da Revalidação*: 24/09/2022
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: RUBENS RISCALA MADI	CPF: 077.905.258-75
Título do Projeto: Avaliação dos Índices de Atropelamento de Fauna Silvestre em duas Unidades de Conservação (UC) do Estado de Sergipe.	
Nome da Instituição: INSTITUTO DE TECNOLOGIA E PESQUISA	CNPJ: 02.886.710/0001-96

Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta de carcaças	09/2021	08/2022

Equipe

#	Nome	Função	CPF	Nacionalidade
1	Douglas Aran dos Santos Bomfim	Pesquisador	045.179.605-52	Brasileira

Observações e ressalvas

1	A autorização não eximirá o pesquisador da necessidade de obter outras anuências, como: I) do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador quando as atividades forem realizadas em área de domínio privado ou dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso; II) da comunidade indígena envolvida, ouvido o órgão indigenista oficial, quando as atividades de pesquisa forem executadas em terra indígena; III) do Conselho de Defesa Nacional, quando as atividades de pesquisa forem executadas em área indispensável à segurança nacional; IV) da autoridade marítima, quando as atividades de pesquisa forem executadas em águas jurisdicionais brasileiras; V) do Departamento Nacional da Produção Mineral, quando a pesquisa visar a exploração de depósitos fossilíferos ou a extração de espécimes fósseis; VI) do órgão gestor da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, dentre outras.
2	Deve-se observar as as recomendações de prevenção contra a COVID-19 das autoridades sanitárias locais e das Unidades de Conservação a serem acessadas.
3	Esta autorização NÃO libera o uso da substância com potencial agrotóxico e/ou inseticida e NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de atender às exigências e obter as autorizações previstas em outros instrumentos legais relativos ao registro de agrotóxicos (Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, entre outros).
4	Esta autorização NÃO libera o uso da substância com potencial agrotóxico e/ou inseticida e NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de atender às exigências e obter as autorizações previstas em outros instrumentos legais relativos ao registro de agrotóxicos (Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, entre outros).
5	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa ICMBio nº 03/2014 ou na Instrução Normativa ICMBio nº 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.
6	As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia.
7	Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em www.mma.gov.br/cgen .
8	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos, e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condição in situ.

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0792090120210924

Página 1/6

Anexo II - Comprovante de cadastro SisGen



Ministério do Meio Ambiente CONSELHO DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO

SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL ASSOCIADO

Comprovante de Cadastro de Acesso

Cadastro nº ADDECD3

A atividade de acesso ao Patrimônio Genético, nos termos abaixo resumida, foi cadastrada no SisGen, em atendimento ao previsto na Lei nº 13.123/2015 e seus regulamentos.

Número do cadastro:	ADDECD3
Usuário:	ITP
CPF/CNPJ:	02.886.710/0001-96
Objeto do Acesso:	Patrimônio Genético
Finalidade do Acesso:	Pesquisa

Espécie

Didelphis aubiventris
Salvator merianae
Boa constrictor
Bothrops leucurus
Spilotes pullatus
Iguana iguana
Rhinella jimi
Cerdocyon thous
Callithrix jacchus
Callicebus coimbrai
Didelphis albiventris
Euphractus sexcinctus
Leopardus pardalis