

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

**QUAIS OS IMPACTOS AMBIENTAIS NAS RODOVIAS DE
SÃO PAULO SOBRE OS ANIMAIS SILVESTRES E
DOMÉSTICOS?**

TERESA NEYRA BELDERRAIN

Botucatu – SP

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

**QUAIS OS IMPACTOS AMBIENTAIS NAS RODOVIAS DE
SÃO PAULO SOBRE OS ANIMAIS SILVESTRES E
DOMÉSTICOS?**

TERESA NEYRA BELDERRAIN

Dissertação apresentada junto ao Programa de
Pós-Graduação em Animais Selvagens para a
obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Hidalgo Friciello Teixeira

B427q Belderrain, Teresa Neyra
Quais os impactos ambientais nas rodovias de São Paulo sobre os animais silvestres e domésticos?
/ Teresa Neyra Belderrain. -- Botucatu, 2025 77 p. : tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu
Orientador: Rodrigo Hidalgo Friciello Teixeira
1. Animais silvestres. 2. Ecologia da paisagem. 3. Biologia de conservação. 4. Áreas silvestres. I. Título

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Dados fornecidos pelo autor(a).

Impacto científico do produto gerado pela dissertação

A dissertação de mestrado realizada apresenta uma análise aprofundada e pioneira sobre os impactos ambientais causados pelas rodovias do estado de São Paulo na fauna silvestre e doméstica, com foco nas rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075). O trabalho resulta de uma combinação de revisão bibliográfica, análise estatística e georreferenciamento de dados de atropelamentos, e assim, mostra um relevante impacto científico, social e tecnológico.

Do ponto de vista científico, a pesquisa avança no campo da Ecologia de Rodovias ao apresentar um retrato robusto da mortalidade de fauna entre 2020 e 2022 nas três rodovias estudadas, registrando 1.647 atropelamentos, sendo 1.471 com animais domésticos e 176 com silvestres. A predominância de mamíferos, o pico de ocorrências no período matutino, e a concentração dos acidentes nas regiões dos municípios de Sorocaba, Barueri e Osasco foram alguns dos padrões detectados. A aplicação do Teste de Igualdade de Proporções e a criação de mapas de calor com base em dados oficiais permitiram identificar *hotspots* com precisão, oferecendo uma base confiável para pesquisas futuras e implementações de políticas públicas. Ao gerar dados inéditos e regionalizados, o estudo contribui para preencher uma lacuna crítica na literatura brasileira sobre mortalidade de fauna e efeitos antrópicos em áreas altamente urbanizadas e fragmentadas.

Em termos de impacto social, o trabalho destaca o risco não apenas à biodiversidade, mas também à segurança humana. A dissertação revela que os acidentes envolvendo animais nas rodovias paulistas resultam, em média, em 211 feridos e nove mortes humanas por ano, além de danos econômicos. Esses dados reforçam a necessidade de políticas públicas mais efetivas e de maior conscientização por parte da população e dos gestores rodoviários. Ao tornar visível o problema dos atropelamentos de fauna em rodovias, a pesquisa fortalece o diálogo entre ciência, sociedade civil e autoridades governamentais, promovendo a conservação ambiental integrada ao planejamento viário.

No aspecto tecnológico, a produção de mapas de calor interativos com uso de comandos específicos no Git Bash, aliado ao processamento e visualização geográfica dos dados, representa um avanço metodológico no monitoramento de fauna atropelada. Essa tecnologia permite uma análise espacial detalhada e pode ser aplicada em futuras avaliações ambientais, estudos de impacto e no planejamento de medidas mitigatórias, como a instalação estratégica de passagens de fauna e radares de velocidade. As recomendações práticas incluídas no trabalho — como a implementação de corredores de fauna, cercas condutoras e ações

educativas — têm potencial direto de aplicação por órgãos ambientais e concessionárias.

Por fim, ao articular ciência aplicada, responsabilidade socioambiental e ferramentas tecnológicas acessíveis, a dissertação representa um produto de alto impacto multidimensional. Ela promove o fortalecimento da conservação da biodiversidade em contextos antropizados, com potencial de replicação em outras regiões do Brasil. O trabalho, portanto, não apenas documenta um problema urgente, mas também oferece soluções viáveis, orientadas por evidências e passíveis de implementação, contribuindo efetivamente para uma melhor convivência entre a infraestrutura viária e a fauna.

Nome da autora: **Teresa Neyra Belderrain**

**TÍTULO: QUAIS OS IMPACTOS AMBIENTAIS NAS RODOVIAS DE SÃO PAULO
SOBRE OS ANIMAIS SILVESTRES E DOMÉSTICOS?**

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^o. Dr. Rodrigo Hidalgo Friciello Teixeira
Presidente e Orientador
Departamento de Medicina Veterinária
Zoológico de Sorocaba

Prof^a. Tit. Cláudia Valéria Seullner Brandão
Departamento de Cirurgia e Anestesiologia Veterinária
FMVZ/UNESP – Campus de Botucatu

Prof^a. Dra. Fabíola Eloisa Setim
Departamento de Medicina Veterinária
UNIP – Universidade Paulista

Data da defesa: 14 de julho de 2025

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não foi feito apenas por mim e tenho a agradecer por todas as pessoas incríveis que caminharam ao meu lado durante essa trajetória única. Foram elas que me fizeram chegar até aqui.

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Carmen Neyra Belderrain e José Luiz Rocha Belderrain, que sob muito sol, me fizeram chegar até aqui pela sombra. Agradeço imensamente vocês por todo o suporte e investimento na minha educação desde sempre. Por todo o amor, paciência e cuidado, especialmente nos momentos mais difíceis. Carrego o amor de vocês por onde eu vou. Estendo tal agradecimento aos meus irmãos, Luiz Belderrain e Gabriela Belderrain, e a toda minha família. Vocês me dão forças para continuar todos os dias, e serei eternamente grata por todo o amor que recebo diariamente de cada um. Toda a força e incentivo que me deram para seguir adiante fez toda a diferença. Sem vocês não teria conseguido chegar até aqui.

Tenho uma enorme gratidão ao meu orientador, Rodrigo Teixeira, por toda a paciência, apoio e inspiração durante todo o período que passamos juntos até agora. Por me receber de braços abertos e por ter aberto as portas da UNESP para mim, e me guiado nessa trajetória tão desafiadora. Agradeço muito por entender e respeitar meu tempo nessa caminhada, e pelo acolhimento ao realizar essa pesquisa juntos.

Agradeço ao meu noivo, Matheus Zerlote, por todo o apoio e cuidado, principalmente nesse último ano com tantos desafios e obstáculos. Você é meu refúgio e meu porto seguro. Toda a sua calma, seu cuidado, sua paciência, seu carinho e seu amor me fizeram alcançar voos ainda maiores, pois sabia que você estaria lá para comemorá-los comigo. Agradeço por estar aqui por mim todos os dias e em todos os momentos, saiba que ser amada e cuidada por você é um presente pelo qual sou grata todos os dias.

Agradeço muito aos meus amigos que sempre estiveram lá por mim e nunca deixaram de acreditar no meu potencial. Todos vocês foram essenciais na minha caminhada. À Karoline de Oliveira, Daniele Barreto, Karina Ferreira e Victor Libório, minhas melhores amigas e melhor amigo, que mesmo com a distância física, se fazem presentes a todo momento de uma maneira incrível. Tenho muita sorte de ter cada um de vocês, e de receber todo esse amor e carinho que me dá forças para seguir. Muito obrigada por todo o ombro amigo e por todo o cuidado.

Agradeço ao Alexandre Martins, à Maíra Prestes e ao Mateus Oliveira, pessoas incríveis que conheci no Curso Internacional de Manejo de Animal de Vida Livre no Pantanal. Foram dias únicos que levarei comigo e experiências incríveis que me

marcaram muito positivamente. Agradeço por toda a ajuda com minha pesquisa, por todas as conversas enriquecedoras, pelo apoio e pelo acolhimento.

Agradeço também ao Rafael Françoze e Filipe Rodrigues por toda o auxílio na parte estatística do trabalho e na produção do mapa de calor, por todas as reuniões e conversas para alcançar o resultado esperado. O trabalho final não seria o mesmo sem a ajuda e apoio de vocês, muito obrigada!

Estendo meus agradecimentos ao Departamento de Estadística e Rodagem (DER) pela disponibilização dos dados planilhados que permitiram essa pesquisa acontecer.

Agradeço imensamente aos membros da banca do exame de qualificação, Prof.^a Titular Cláudia Valéria Seullner Brandão e Prof. Dr. Ramiro das Neves Dias Neto, pelas valiosas considerações e sugestões que contribuíram significativamente para o aprimoramento da minha pesquisa e para o prosseguimento do estudo rumo à finalização desta dissertação.

Por fim, meus agradecimentos à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da UNESP Botucatu e ao Programa de Pós-Graduação em Animais Selvagens.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código do Financiamento 001.

Muito obrigada a todos!

“No final, só conservaremos aquilo que amarmos. Só amaremos aquilo que compreendermos. Só compreenderemos aquilo que nos ensinaram.”

Baba Dioum

BELDERRAIN, T. N. Quais os impactos ambientais nas rodovias de São Paulo sobre os animais silvestres e domésticos? Botucatu, 2025. 77p. Dissertação (Mestrado em Animais Selvagens) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

As fatalidades por atropelamento veiculares de fauna são uma das maiores ameaças à vida selvagem. O estado de São Paulo, com alto nível de fragmentação de *habitats*, registrou mais de 21 mil atropelamentos de animais nas rodovias do estado nos últimos 15 anos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os impactos gerados sobre as espécies de animais selvagens e domésticos atropelados nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), entre 2020 e 2022. A metodologia baseou-se em uma revisão bibliográfica e análise de dados fornecidos pela concessionária das rodovias e do Departamento de Estradas e Rodagem (DER). Os dados estatísticos foram avaliados com o Teste de Igualdade de Proporções entre duas amostras independentes. Foram registradas 1.647 colisões veiculares envolvendo animais, sendo 1.471 com animais domésticos e 176 com silvestres. A maioria dos acidentes ocorreu na rodovia Castelo Branco, com mamíferos como os principais afetados. O período com mais ocorrências de atropelamento foi entre 6h e 12h, possivelmente relacionado ao horário de trabalho da maioria da população brasileira. O mapa de calor gerado indicou maior incidência de atropelamentos nas proximidades dos municípios de Sorocaba, Barueri e Osasco. Como medidas mitigatórias, recomenda-se a implementação de passagens de fauna, aumento da fiscalização e instalação de radares, visando à redução dos impactos sobre a fauna e à melhoria da segurança viária.

Palavras-chave: fauna silvestre, Ecologia de Estradas, atropelamento de fauna, medidas mitigatórias.

BELDERRAIN, T. N. What are the environmental impacts of highways in São Paulo on wild and domestic animals? Botucatu, 2025. 77p. Dissertação (Mestrado em Animais Selvagens) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

ABSTRACT

Wildlife-vehicle collisions are one of the major threats to wildlife. The state of São Paulo, characterized by a high degree of habitat fragmentation, has recorded over 21,000 animal-vehicle collisions on its highways in the past 15 years. This study aimed to assess the impacts of vehicle collisions involving wild and domestic animals along the Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280), and Santos Dumont (SP-075) highways between 2020 and 2022. The methodology was based on a literature review and data analysis provided by the highway concessionaire and the Department of Roads and Highways (DER). Statistical data were analyzed using the Two-Proportion Z-Test for independent samples. A total of 1,647 vehicle collisions involving animals were recorded, of which 1,471 involved domestic animals and 176 involved wild animals. Most accidents occurred on the Castelo Branco highway, with mammals being the most affected group. The highest number of roadkill incidents occurred between 6 a.m. and 12 p.m., possibly linked to peak commuting hours for the Brazilian population. The heat map generated showed a higher incidence of roadkill near the municipalities of Sorocaba, Barueri, and Osasco. As mitigation measures, the implementation of wildlife crossings, increased surveillance, and the installation of speed cameras are recommended to reduce impacts on fauna and improve road safety.

Keywords: wildlife, Road Ecology, wildlife-vehicle collisions, mitigation measures.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.** Passagem de fauna na Rodovia Tamoios no município de Paraibuna (SP). Fonte: Desenvolvimento Rodoviário S.A. (DERSA).13
- FIGURA 2.** Registro de Irara (*Eira barbara*) atravessando passagem de fauna localizada na Rodovia Tamoios no município de Paraibuna (SP). Fonte: Concessionária Tamoios.13
- FIGURA 3.** Passagem subterrânea do tipo galeria, com passagens secas nas laterais para animais que não se deslocam por água ou ambientes úmidos na BR-158, no município de Confresa (MT). Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).14
- FIGURA 4.** Passagem de fauna do tipo caixa seca, acompanhada de cerca condutora, na rodovia SP-225, localizada no município de Brotas (SP). Foto: Fernanda Delborgo Abra.15
- FIGURA 5.** Passagem de fauna aérea localizada no km 65+610 da Rodovia Tamoios, no trecho de planalto de Caraguatatuba (SP). Fonte: Concessionária Tamoios.15
- FIGURA 6.** Passagem de fauna aérea localizada no km 70,4 no trecho de Serra da Rodovia dos Tamoios. Fonte: Concessionária Tamoios.16
- FIGURA 7.** Localização do estado de São Paulo, Brasil, com as principais rodovias demarcadas (linhas vermelhas). Fonte: IBGE.19
- FIGURA 8.** Mapa do estado de São Paulo com a rodovia Castelo Branco (SP-280) demarcada (linha vermelha). Fonte: Renato M.E. Sabbatini.19
- FIGURA 9.** Trecho da rodovia Castelo Branco (SP-280) em Osasco, localizado no estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Webysther Nunes.20
- FIGURA 10.** Trevo da rodovia Castelo Branco (SP-280), no km 241, no cruzamento com a SP-255, no município de Avaré, localizado no estado de São Paulo, Brasil. Fonte: José Reynaldo da Fonseca.20
- FIGURA 11.** Mapa do estado de São Paulo com a rodovia Raposo Tavares (SP-270) demarcada (linha vermelha). Fonte: Domínio público (Wikimedia Commons).21
- FIGURA 12.** Rodovia Raposo Tavares (SP-270) no município de Presidente Prudente, localizada no estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Concessionária Auto Raposo Tavares S.A (CART).22

FIGURA 13. Mapa do estado de São Paulo com a rodovia Santos Dumont (SP-075) demarcada (linha vermelha). Fonte: Renato M.E. Sabbatini.	23
FIGURA 14. Rodovia Santos Dumont (SP-075). Fonte: Alessandro Torres.	23
FIGURA 15. Quantidade de atropelamentos envolvendo animais nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), na cor verde, Castelo Branco (SP-280), na cor azul, e Santos Dumont (SP-075), na cor laranja.	30
FIGURA 16. Porcentagem de ocorrências de atropelamentos por categoria de animal – animais domésticos (na cor laranja) e silvestres (na cor azul) – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), no período de 2020 a 2022.	31
FIGURA 17. Porcentagem de ocorrências de atropelamentos por classe de animal – aves (na cor laranja) mamíferos (na cor verde) e répteis (na cor azul) – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075). .	33
FIGURA 18. Porcentagem de ocorrências de atropelamentos por período do dia (24h) – das 00:00h às 06:00h (cor laranja), das 06:00h às 12:00h (cor roxa), das 12:00h às 18:00h (cor verde) e das 18:00h às 23:59h (cor azul) – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075). .	35
FIGURA 19. Mapa de calor com enfoque nas rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075), indicando as regiões com maior índice de atropelamento envolvendo fauna. As cores quentes (vermelho e laranja) representam áreas com maior densidade de ocorrências e as cores frias (verde e azul) representam menor frequência de atropelamento de fauna.	36
FIGURA 20. Mapa de calor com imagem de satélite, com enfoque nas rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075), indicando as regiões com maior índice de atropelamento envolvendo fauna. As cores quentes (vermelho e laranja) representam áreas com maior densidade de ocorrências e as cores frias (verde e azul) representam menor frequência de atropelamento de fauna.	37
FIGURA 21. Imagem do Google Maps de um trecho da rodovia Celso Charuri (SPA-91/270), via que interliga as rodovias Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075), identificado com alto índice de atropelamento de fauna. Fonte: Google Maps, 2024.	37

FIGURA 22. Imagem do Google Maps de um trecho da rodovia Raposo Tavares (SP-270), no município de Sorocaba, identificado com alto índice de atropelamento de fauna. Fonte: Google Maps, 2024.	38
FIGURA 23. Imagem do Google Maps de um trecho da rodovia Raposo Tavares (SP-270), no município de Sorocaba, identificado com índice de atropelamento de fauna; vista a partir do lado oposto da via. Fonte: Google Maps, 2024.	38
FIGURA 24. Imagem do Google Maps de um trecho da rodovia Castelo Branco (SP-280), no município de Barueri, identificado com alto índice de atropelamento de fauna. Fonte: Google Maps, 2024.	39

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1.** Estatística descritiva de acidentes envolvendo animais nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), quantidade de acidentes (N) e proporção de acidentes (%).29
- TABELA 2.** Estatística descritiva da quantidade de acidente nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), categoria de animal – domésticos ou silvestres – com porcentagem (%) em relação ao total de acidentes da rodovia em questão e total de animais atropelados (N).31
- TABELA 3.** Tabela 3. Quantidade de acidentes, por categoria de animal – domésticos ou silvestres – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), com porcentagem (%) em relação ao total da categoria de animal e total de animais atropelados (N).32
- TABELA 4.** Quantidade de acidentes, por classe de animal – mamíferos, aves e répteis – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), com a porcentagem (%) de cada classe de animal em relação ao total de acidentes em cada rodovia (N).33
- TABELA 5.** Quantidade de acidentes, por classe de animal – mamíferos, aves e répteis – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), com a porcentagem (%) de cada classe de animal em relação ao total de acidentes em cada rodovia (N).34
- TABELA 6.** Quantidade de acidentes envolvendo animais, por períodos (entre 00:00h e 06:00h, das 06:00h às 12:00h, das 12:00h às 18:00h e das 18:00h às 23:59h), nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), com a porcentagem de cada período em relação ao total de acidentes das rodovias (N).35

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiv
SUMÁRIO.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	5
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	6
3.1 QUAIS FATORES CONTRIBUEM PARA OS ATROPELAMENTOS?.....	6
3.2 DINÂMICA VIÁRIA E MORTALIDADE DE FAUNA: TENDÊNCIAS E DESAFIOS NAS ESTRADAS DE SÃO PAULO.....	8
3.3 ASSOCIAÇÃO DE ESPÉCIES ATROPELADAS COM AS ESPÉCIES AMEAÇADAS.....	9
3.4 MEDIDAS PREVENTIVAS ÀS COLISÕES ENTRE VEÍCULOS E ANIMAIS SILVESTRES.....	12
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	18
4.2 PROTOCOLO DE ANÁLISE E COLETA DE DADOS.....	24
4.3 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA.....	25
5 RESULTADOS.....	29
6 DISCUSSÃO.....	40
7 CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

Indiscutivelmente, a construção de novos empreendimentos viários como rodovias, hidrovias e ferrovias promovem o desenvolvimento econômico e social de uma região (PERZ *et al.*, 2012; BAGER & FONTOURA, 2013). Muitas áreas naturais foram amplamente modificadas pelas atividades humanas, incluindo a expansão da rede de transportes terrestres (GIBBS *et al.*, 2010; LAURANCE *et al.*, 2014). Pelo menos 25 milhões de quilômetros de estradas estão planejados para serem construídos até 2050 ao redor do mundo, dos quais 90% deverão ser construídos em países em desenvolvimento, incluindo regiões tropicais como a Amazônia brasileira e o Cerrado (DULAC, 2013). Tais regiões brasileiras sustentam uma biodiversidade excepcional e fornecem serviços ecossistêmicos vitais (DULAC, 2013; LAURANCE *et al.*, 2014). Entretanto, estes novos empreendimentos causam sérios efeitos ambientais negativos como: 1) perda e degradação de *habitat*, 2) diminuição da conectividade entre as manchas naturais de *habitat*, 3) mortalidade da fauna por meio de colisão com veículos, 4) modificação do comportamento animal e 5) alteração física e química do ambiente (TROMBULAK & FRISSELL, 2000; LAURANCE *et al.*, 2014; VAN DER REE, SMITH & GRILO, 2015).

As fatalidades decorrentes do tráfego de veículos são consideradas a principal fonte não natural de mortalidade da fauna silvestre e o atropelamento de animais tem sido considerado uma das ameaças mais graves à vida selvagem. A mortalidade que ocorre de forma direta nas rodovias tem o potencial de alterar a estrutura demográfica das populações levando à diminuição de populações, perda de biodiversidade e aumento no risco de extinção de animais selvagens (ABRA, 2012; SAÉNZ-DE-SANTA-MARÍA & TELLERÍA, 2015; ASCENSÃO *et al.*, 2016; LUCAS *et al.*, 2018). A extensão desses impactos depende das características das estradas, tais como a largura, ou seja, números de faixas de rolamentos, o fluxo de veículos da rodovia, o volume e velocidade do tráfego, as características da paisagem, tais como: área de preservação, tipo de fauna e flora, e a proximidade de áreas naturais e das espécies animais de interesse (AMENT *et al.*, 2008; FRAIR *et al.*, 2008; RYTWINSKI & FAHRIG, 2013; FREITAS *et al.*, 2015).

Em todo o mundo, muitos estudos estimaram a mortalidade em rodovias para diferentes espécies ao longo de estradas com diferentes características. Como exemplo, as estimativas anuais de mortes em rodovias incluem 159 mil mamíferos e 653 mil aves nos Países Baixos, sete milhões de aves na Bulgária e cinco milhões de anfíbios e répteis na Austrália (VAN DER ZANDE *et al.*, 1980; BENNETT, 1991; FORMAN & ALEXANDER, 1998). Já nos Estados Unidos, foi estimado que 80 milhões de aves são mortas nas estradas todos os anos, enquanto outro estudo

estimou que um milhão de vertebrados são mortos diariamente nas rodovias (FORMAN & ALEXANDER, 1998; ERICKSON *et al.*, 2005).

Em nível mundial, o atropelamento mostra-se como um risco adicional para mais de 120 mamíferos terrestres, incluindo 83 espécies Ameaçadas ou Quase Ameaçadas (NT – *Near Threatened*) de extinção – de acordo com a Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN) – segundo os dados de uma pesquisa internacional do Instituto de Ciências Naturais da Universidade Federal de Lavras (ICN/UFLA) em parceria com o Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Lisboa (GRILO *et al.*, 2021). O atropelamento em rodovias é responsável por 35% das mortes anuais da pantera-da-Flórida (*Puma concolor coryi*) na Flórida (TAYLOR *et al.*, 2002) e 49% das mortes anuais do texugo-europeu (*Meles meles*) no Reino Unido (HARRIS *et al.*, 1992, 1995). Além disso, o atropelamento em estradas elimina anualmente 10% da população do lince-ibérico (*Lynx pardinus*) e 10% da população do urso-negro (*Ursus americanus*), ambos na Floresta Nacional de Ocala, na Flórida, Estados Unidos (SIMÓN, 2012; FFWCC, 2012). Além disso, quatro populações de animais silvestres podem se extinguir localmente em 50 anos se os níveis observados de atropelamentos de fauna persistirem, sendo eles: a hiena-marrom (*Hyaena brunnea*) na África Austral, o leopardo (*Panthera pardus*) na Índia, e no Brasil, as populações do lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*) e do gato-do-mato-pequeno (*Leopardus tigrinus*) (GRILO *et al.*, 2021).

Em âmbito nacional, estimativas do Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas (CBEE) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) mostram que mais de 475 milhões de animais selvagens são atropelados e mortos nas rodovias e estradas do Brasil por ano. Ou seja, em média, 15 animais são atropelados a cada segundo nas estradas e rodovias brasileiras. Esse número expõe a realidade de um país diverso e com uma malha viária com mais de 1,7 milhões de quilômetros (CBEE, 2019).

Segundo a CBEE, aproximadamente 430 milhões de animais de pequeno porte (< 1kg), como pássaros, pequenos roedores e anfíbios, morrem anualmente nas rodovias brasileiras. O restante dos 45 milhões de animais afetados por colisões veiculares são divididos entre animais de médio porte (40 milhões), como por exemplo, gambás (*Didelphis spp.*), lebres (*Lepus europaeus*) – uma espécie exótica invasora –, e macacos-bugios (*Alouatta spp.*), e animais de grande porte (5 milhões) como: onça-parda (*Puma concolor*), onça-pintada (*Panthera onca*), anta (*Tapirus terrestris*), lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*) e capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) (CBEE, 2019).

O estado de São Paulo, localizado no sudeste do Brasil, possui uma das redes viárias mais densa do Brasil. Em termos gerais, o estado possui 199.809,23

quilômetros de rodovias pavimentadas e não pavimentadas, incluindo estradas estaduais, federais e municipais (81,7% não pavimentadas e 18,3% pavimentadas) (DER, 2025). A região do estado de São Paulo possui um cenário ambiental bastante preocupante, visto que os níveis de fragmentação dos *habitats* naturais são os mais altos do Brasil (METZGER & RODRIGUES, 2008).

Nas últimas décadas, o Estado de São Paulo passou por mudanças significativas na paisagem e no uso da terra. Isso incluiu a perda substancial dos biomas da Mata Atlântica e do Cerrado, ambos considerados *hotspots* de biodiversidade mundial (MITTERMEIER *et al.*, 2011). A vegetação natural foi convertida em pastagem e áreas agrícolas, assim como em áreas urbanas (DEAN, 1997; RIBEIRO *et al.*, 2009), e a perda adicional de *habitat* foi associada à expansão da malha rodoviária, que teve um aumento de 33% no comprimento entre 1988 e 2013 (DER, 2019). A intensidade com que a malha rodoviária é utilizada também aumentou substancialmente, observando-se um crescimento de 329% nos números de veículos registrados entre 1998 e 2018 (DETRAN, 2019).

Além disso, mortalidade por veículos pode ter um componente temporal, visto que o fluxo de veículos nas estradas aumentou significativamente nos últimos anos. O tráfego de veículos no estado de São Paulo, por exemplo, cresceu de aproximadamente 694 milhões em 2016 para cerca de 1,1 bilhão em 2024. Esse aumento de tráfego pode estar associado ao aumento das colisões veiculares, intensificando a ameaça à fauna silvestre (ARTESP, 2024). Esse fenômeno pode ser observado de acordo com os dados da ARTESP, que mostram um aumento exponencial no número de acidentes envolvendo atropelamento de fauna ao longo dos anos. Entre 2000 e 2010, os atropelamentos subiram de 135 para 1.419 acidentes anuais nas rodovias do estado de São Paulo. De 2011 a 2024, os números continuaram a crescer, chegando a 2.034 acidentes com atropelamento de fauna em 2024. É importante ressaltar que, nos primeiros dois meses de 2025, já foram registrados mais de 300 acidentes envolvendo animais (ARTESP, 2025).

A quantificação do número de atropelamentos e a identificação de padrões no espaço e no tempo são importantes para justificar, planejar, conceber e aplicar medidas mitigatórias eficazes. Assim, torna-se de grande importância analisar as condições atuais em que se encontram as rodovias do estado de São Paulo, realizando uma avaliação dos índices de atropelamento, as espécies locais e a paisagem.

Com base neste estudo, objetivou-se elaborar um mapa de calor (*hotspot map*) a fim de verificar as áreas das rodovias estudadas com maiores e menores índices de atropelamento. A partir dessas informações, foram sugeridas a aplicação de medidas mitigatórias, como por exemplo, a implementação de estruturas como

os corredores de fauna, ou as passagens de fauna, aéreas ou subterrâneas, que melhor se adequem às regiões das rodovias analisadas.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo foi avaliar os impactos generalizados sobre as espécies de animais selvagens e domésticos impactados por atropelamento nas rodovias do estado de São Paulo, sendo elas: rodovias Castelo Branco (SP-280) e Raposo Tavares (SP-270) e Rodovia Santos Dumont (SP-075), bem como discutir possíveis ações mitigatórias.

Objetivos específicos

Como objetivos específicos deste estudo podemos enumerar:

- 1) Avaliar o cenário atual das rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270) e Rodovia Santos Dumont (SP-075), localizadas no estado de São Paulo;
- 2) Quantificar e qualificar os eventos de atropelamentos de animais, avaliando os animais mais impactados por colisões veiculares nas rodovias;
- 3) Identificar as principais localidades de maior índice de atropelamento de fauna ao longo das rodovias em estudo, a partir da elaboração de um mapa de calor (*hotspot*); e
- 4) Discutir possíveis estratégias mitigatórias de modo a minimizar impactos negativos para a fauna silvestre.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Quais fatores contribuem para os atropelamentos?

O atropelamento de fauna resulta de uma combinação de diversos fatores, entre os quais se destacam o volume de tráfego, a estrutura da paisagem e o padrão de atividade dos animais (CLEVENGER *et al.*, 2003; LESTER, 2015). Embora a mortalidade causada por veículos seja prevalente em muitas populações de mamíferos, nem todas as espécies são igualmente impactadas. Globalmente, alguns estudos indicam que onívoros e herbívoros têm taxas de mortalidade nas estradas mais altas do que os carnívoros (FORD & FAHRIG, 2007; BARTHELMESS & BROOKS, 2010; COOK & BLUMSTEIN, 2013). O comportamento alimentar de forrageamento pode influenciar essa suscetibilidade, já que espécies que forrageiam no solo, ao invés de buscar seu alimento em árvores, podem estar em maior risco de colisões. Além disso, a prática de se alimentar de carcaças de animais mortos nas estradas também pode aumentar o risco de acidentes em animais necrófagos, devido ao maior tempo gasto nas proximidades das vias pelos animais que se alimentam dos indivíduos atropelados (HILL *et al.*, 2018; SCHWARTZ *et al.*, 2018).

Em termos gerais, mamíferos de grande porte, com baixa taxa reprodutiva e grandes áreas de vida, são mais suscetíveis aos efeitos negativos das rodovias, pois percorrem longas distâncias e interagem com as estradas com mais frequência, o que aumenta a probabilidade de atropelamentos (RYTWINSKI & FAHRIG, 2015). A mobilidade tende a aumentar com a massa corporal, e a movimentação de animais de grande porte pode resultar em mais travessias de estradas, elevando as chances de colisões (SCHWAB & ZANDBERGEN, 2011). Contudo, animais maiores também podem ser mais visíveis para os motoristas, o que resulta em taxas de colisões menores (FORD & FAHRIG, 2007).

Por sua vez, mamíferos de pequeno porte, com altas taxas reprodutivas e menor mobilidade, sofrem menos com impactos negativos das rodovias, uma vez que interagem menos com a malha viária. Visto que animais de grande porte podem ser mais visíveis para motoristas e animais de pequeno porte sofrem menos impactos em rodovias, estudos apontam um aumento nas colisões veiculares com mamíferos de médio porte (FORD & FAHRIG, 2007; BARTHELMESS & BROOKS, 2010). Além disso, animais que possuem hábitos noturnos podem ser menos visíveis para motoristas e, portanto, sofrer taxas mais altas de atropelamentos (SULLIVAN, 2011).

Segundo estudos, animais sociais podem aprender a evitar veículos observando os comportamentos de outros da mesma espécie (MOLLER, ERRITZOE & ERRITZOE, 2011). Além de evitar os veículos em si, espécies podem evitar a própria superfície da estrada. Essa ação as torna menos suscetíveis de sofrerem atropelamento, pois raramente irão atravessar a rodovia, no entanto, elas podem ter dificuldades para acessar *habitats* e recursos importantes que se encontram do outro lado da estrada. Ainda, algumas espécies podem evitar os distúrbios causados pelo tráfego de veículos, tais como o ruído, luzes e as emissões de gases ou substâncias químicas dos veículos. Da mesma forma, esse comportamento reduz as chances de colisões veiculares, contudo, as populações dessas espécies podem ser fragmentadas em populações menores e parcialmente isoladas o que pode torná-las mais vulneráveis à extinção. Esse padrão comportamental também reduz a quantidade de *habitat*, uma vez que a área próxima de rodovias se torna inadequada (RYTWINSKI & FAHRIG, 2015).

É importante observar que animais ectotérmicos, como os répteis, regulam ativamente sua temperatura corporal ao se moverem para microclimas termicamente favoráveis. As superfícies asfaltadas e as margens da estrada aquecem durante o dia e irradiam calor à noite, assim, algumas espécies podem ser atraídas para absorver esse calor e realizar a termorregulação. Esse padrão comportamental, no entanto, é prejudicial para as espécies e aumenta o risco de colisões veiculares e fatalidades, visto que os animais podem permanecer na estrada por períodos prolongados (FAHRIG *et al.*, 1995). Além disso, as margens das estradas geralmente possuem uma boa exposição ao sol, pouca vegetação, áreas de solo nu e calor radiante oriundo das estradas, tornando-as altamente atraentes para répteis como locais para nidificação e alimentação (STEEN *et al.*, 2006).

A ameaça aos répteis torna-se ainda maior quando há a intenção de atropelar esses animais. O ato intencional de atropelar cobras está principalmente associado ao medo e desprezo por parte dos motoristas (BECKMANN & SHINE, 2012). Ou seja, quando cobras são avistadas, as pessoas geralmente tentam matá-las, principalmente porque acreditam que elas são perigosas e representam uma ameaça à vida humana (RODRIGUES, 2005). Em um estudo realizado na rodovia MG-010, em Minas Gerais, foi utilizado um molde de serpente para verificar a intencionalidade dos atropelamentos, e observou-se que mais da metade dos atropelamentos foram classificados como intencionais (SECCO *et al.*, 2014). O ato intencional de atropelar cobras também foi observado em outros países que conduziram estudos similares, como Kansas, nos Estados Unidos, e Ontário, no Canadá (LANGLEY *et al.*, 1989; ASHLEY *et al.*, 2007).

O risco de atropelamentos nesse grupo animal aumenta visto que répteis geralmente se movem lentamente e tendem a paralisar ou adotar uma postura defensiva quando detectam perigo – respostas que são ineficazes diante de veículos em aproximação. Quelônios, crocodilianos e muitas espécies de ofídios levam anos para alcançar a maturidade sexual, mas compensam esse fato com uma alta taxa de sobrevivência dos adultos; assim, as populações são especialmente vulneráveis à mortalidade adulta devido à novas rodovias e ao aumento de tráfego (ANDREWS *et al.*, 2015).

3.2 Dinâmica Viária e Mortalidade de Fauna: Tendências e Desafios nas Estradas de São Paulo

A população do estado de São Paulo cresceu 7,65% de 2010 a 2022, segundo o Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). De acordo com o Censo 2022 do IBGE, 44.420.459 residem no estrado de São Paulo, o que representa um aumento de 3.158.260 habitantes em comparação com o cenário de 2010, quando a população paulista era de 41.262.199. O estado é o mais populoso do país, com 645 municípios, e a população paulista representa 21,8% da população total do Brasil (IBGE, 2024). A população estimada para 2024 no estado de São Paulo é de 45.973.194 pessoas, o que indica um aumento de um pouco mais de 1,5 milhões de pessoas morando no estado de São Paulo. Além disso, ocorreu um aumento significativo do total de veículos no estado, de 13.334.875 em 2010 para 20.032.335 em 2023, de acordo com o último censo do IBGE (IBGE, 2024).

A malha rodoviária do estado de São Paulo é uma das mais extensas do Brasil. O fluxo de veículos nas rodovias paulistas é extremamente alto, com um tráfego médio anual de 869.681.111 milhões de veículos, que vem aumentando exponencialmente nos últimos quatro anos, chegando a mais de 1 bilhão de veículos trafegando pelas rodovias do estado em 2024 (ARTESP, 2024). O tráfego de veículos é significativamente maior no período da manhã e da tarde, e durante os dias de semana (segunda a sexta-feira), que é justificado pelo horário de trabalho da maioria da população (ARTESP, 2024).

Além do impacto direto nos animais selvagens, o atropelamento de fauna também afeta diretamente as pessoas envolvidas em acidentes automobilísticos. De acordo com os dados da ARTESP de 2010 a 2024, ocorreram 21.929 acidentes envolvendo atropelamento de animal nas rodovias do estado de São Paulo. Dessa forma, ocorrem em média 1.462 acidentes com atropelamento de fauna por ano, sendo que nos anos de 2018, 2019 e 2023 o número de atropelamentos foi maior que a média, chegando a 1.587 acidentes no ano de 2023. Já o ano de 2024

ultrapassou a média de todos os anos, chegando a 2.034 acidentes nas rodovias paulistas. Destes acidentes, há uma média anual de 211 acidentes com feridos, e em média nove pessoas morrem consequente dos acidentes com atropelamento de fauna por ano no estado de São Paulo, sendo que só no ano de 2024, 26 pessoas vieram à óbito consequente de acidentes envolvendo atropelamento animal. Estes acidentes têm maior incidência no período da noite, em que a visibilidade é prejudicada pela falta de luminosidade, e no período da madrugada. Assim, é datado que ocorrem quatro acidentes envolvendo atropelamento de fauna nas rodovias de São Paulo diariamente (ARTESP, 2024).

Para além dos seus importantes papéis ecológicos, os mamíferos de médio e grande porte podem também causar graves colisões de veículos, pondo em risco a segurança humana e gerando perdas econômicas para condutores, passageiros e gestores rodoviários (BRUINDERINK & HAZEBROEK, 1996; HUIJSER *et al.*, 2009; ABRA *et al.*, 2019). Na Suécia, são registradas 4.500 colisões entre veículos e alces (*Alces alces*) e 24 mil corças (*Capreolus capreolus*) em média por ano. Ademais, observa-se que colisões entre ungulados e veículos têm aumentado, possivelmente em resposta ao aumento do tráfego (SEILER, 2004). Já nos Estados Unidos, estima-se que anualmente ocorrem 2 milhões de colisões entre veículos e mamíferos de grande porte, tendo como consequência 211 mortes de pessoas e mais de 29 mil feridos (HUIJSER *et al.*, 2009).

Como já visto em outros estudos, acidentes envolvendo feridos são 3,65 mais prováveis de ocorrer ao dirigir um automóvel (veículo de passeio) em comparação com veículos maiores, como caminhões (GUNSON *et al.*, 2003). De acordo com o estudo, automóveis estão envolvidos em 76% das colisões com vítimas. Isso se deve, pois, veículos menores têm menos estrutura e tamanho para absorver a energia do impacto, assim que a força do impacto pode facilmente machucar os passageiros nas colisões veiculares envolvendo animais (GUNSON *et al.*, 2003).

3.3 Associação de espécies atropeladas com a lista de espécies ameaçadas

O impacto e as consequências do atropelamento de fauna tornam-se ainda mais agravantes em animais que estão constatados na Lista Nacional de Animais em Extinção do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Um exemplo preocupante é o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), que está classificado como “Vulnerável” (VU) pelo ICMBio e é uma espécie que é afetada diariamente pelos impactos antrópicos (ICMBIO, 2024). As colisões veiculares constituem ameaça à espécie, podendo diminuir sua taxa de crescimento populacional pela metade (DESBIEZ *et al.*, 2020; NOONAN *et al.*, 2022). Ainda, em determinados locais, os indivíduos podem evitar estradas quando o volume de

tráfego é intenso, resultando em um potencial isolamento de suas populações (FREITAS *et al.*, 2015). No estado de São Paulo, foram encontrados 233 tamanduás-bandeira mortos por atropelamento em um período de nove anos, apenas em rodovias concessionadas, e estima-se que, anualmente, em média, 149 indivíduos da espécie são atropelados em todo o estado, dados esses que podem estar subestimados (ABRA *et al.*, 2021). Já no estado do Mato Grosso do Sul, 608 indivíduos de *M. tridactyla* foram encontrados mortos por atropelamento em um período de três anos (ASCENÇÃO *et al.*, 2021).

Outro exemplo de espécie afetada pelo aumento das atividades humanas é a anta (*Tapirus terrestres*), classificada como “Vulnerável” pelo ICMBio (ICMBIO, 2024). Em um estudo realizado no estado do Mato Grosso do Sul, entre março de 2013 a março de 2020, foram registradas 613 carcaças de antas mortas por colisões com veículos em 34 rodovias estaduais e federais que cortam áreas de Cerrado na região. O estudo ocorreu durante 84 meses de monitoramento, o que resultou em aproximadamente sete antas afetadas por colisões veiculares por mês (MEDICI, com. pess., 2021).

A onça-parda (*Puma concolor*) é um dos animais que sofrem constantemente com o aumento das atividades antrópicas, e está classificada como “Quase Ameaçada” (NT – *Near Threatened*) pelo ICMBio (ICMBIO, 2024). Os carnívoros de grande porte são especialmente sensíveis à construção de empreendimentos como rodovias e ferrovias, atividades antrópicas que promovem a fragmentação de *habitats*. Isso se deve, pois, tais espécies possuem grandes áreas de ocupação e sua organização social depende da dispersão dos jovens em busca de novos territórios (VIEIRA, 1996). O registro de atropelamentos de onças-pardas é frequente em estudos de monitoramento de colisões veiculares em rodovias do Brasil (BRAZ & FRANÇA, 2016; ABRA *et al.*, 2018; DA SILVA ZANZINI *et al.*, 2018). Na região nordeste do estado de São Paulo, entre 2004 e 2008, foram registradas 11 mortes por atropelamentos, sendo 10 machos e uma fêmea (MIOTTO *et al.*, 2011). Na mesma região do estudo de Miotto *et al.* (2011), entre 2012 e 2017, foram registrados 44 indivíduos atropelados, sendo 29 machos e 15 fêmeas, indicando um viés significativo para os atropelamentos em machos (66% machos) (SARANHOLI, 2018). Através de análise genético-populacional, Saranholi (2018) verificou pelo menos quatro indivíduos, todos machos jovens, que poderiam ser categorizados como migrantes entre populações já estruturadas. Isso reforça a ideia de que as rodovias representam uma ameaça não somente à perda de indivíduos por atropelamento, mas também por atuarem como barreira à dispersão e ao fluxo gênico entre as populações, o que pode impactar diretamente a viabilidade dessas em longo prazo. Ademais, em um estudo nas rodovias pavimentadas do Estado de São Paulo (36.500 km) foi estimado que o número de atropelamento de onças-

pardas varia anualmente entre 21 e 376 indivíduos (ABRA *et al.*, 2021).

A perda e fragmentação do *habitat*, associada à ampliação da malha viária, são uma das principais ameaças à conservação das onças-pintadas (*Panthera onca*), classificadas como “Vulnerável” pelo ICMBio (ICMBIO, 2024). Na Caatinga e Mata Atlântica estima-se que há menos de 20% de remanescentes adequados para sua sobrevivência (FERRAZ *et al.*, 2012; MORATO *et al.*, 2013; PAVIOLO *et al.*, 2016), e a Mata Atlântica pode ser o primeiro bioma a perder a espécie (GALETTI *et al.*, 2013; PAVIOLO *et al.*, 2016). Os efeitos da presença de rodovias e tráfego têm sido identificados como um grande impacto para as populações de onça-pintada no Brasil. Um estudo global com espécies de carnívoros demonstrou que a onça-pintada é uma entre as 17 espécies mais afetadas por rodovias, com 38% do seu território afetado pela malha rodoviária (CEIA-HASSE *et al.*, 2017).

A jaguatirica (*Leopardus pardalis*), apesar de estar classificada como “Menos Preocupante” (LC) pelo ICMBio, também é afetada pela perda e fragmentação do *habitat*, visto que tal alteração pode resultar em isolamento genético de suas populações e perda de diversidade genética, como já constatados na América do Norte (JANECKA *et al.*, 2011; JANECKA *et al.*, 2014). Além disso, a espécie, apesar de ser encontrada em áreas agrícolas, ocorre em áreas com presença de remanescentes de vegetação natural. Devido à alta afinidade da espécie com florestas de dossel fechado, Massara *et al.* (2015) sugerem que a jaguatirica seja mais afetada pela fragmentação de *habitat* que os demais mesocarnívoros. Foi observado também que na Mata Atlântica, tanto a abundância quanto o uso do *habitat* pela jaguatirica estão correlacionados positivamente com a presença de grandes predadores (onça-parda e onça-pintada), os quais indicam um *habitat* mais preservado e com maior disponibilidade de presas para a espécie (MASSARA *et al.*, 2015; MASSARA *et al.*, 2018). Esse dado mostra que a jaguatirica parece ser mais vulnerável aos processos relacionados a perda e fragmentação dos remanescentes florestais, impactos antrópicos causados, dentre outros fatores, pelo aumento da matriz rodoviária. A esse respeito, a estimativa média de jaguatiricas atropeladas nas rodovias pavimentadas do Estado de São Paulo (36.500 km), anualmente, é de 112 indivíduos (ABRA *et al.*, 2021).

O crescimento exponencial de centros urbanos e a conseqüentemente perda e fragmentação do *habitat* ocasiona em uma drástica redução de ambientes ideais para a manutenção das populações do lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*), classificado como “Vulnerável” pelo ICMBio (ICMBIO, 2024). A espécie também é severamente ameaçada pelo grande número de atropelamentos, que ocorrem majoritariamente em indivíduos jovens, provavelmente em fase de dispersão (LE MOS, 2023). Em algumas populações, estima-se que os atropelamentos sejam responsáveis pela morte de um terço à metade da produção anual de filhotes

(RODRIGUES, 2002). Nas rodovias pavimentadas do estado de São Paulo (36.500 km), estima-se que o número médio de atropelamentos de lobos-guará seja de 156 indivíduos por ano (ABRA, 2019). Baseado nesses dados, estimou-se a quantidade anual de atropelamentos em toda a distribuição da espécie, e os resultados mostram que 1.566 lobos-guará são atropelados por ano nos 53.476,9 km que cortam sua distribuição. Realizando o cálculo para três gerações, foi obtido um total de 23.490 indivíduos atropelados em 15 anos (LEMOS, 2023). É importante ressaltar que essa estimativa não leva em consideração estradas de terra e atropelamentos de indivíduos da espécie que ocorrem fora das faixas de rolagem, assim, o número pode estar subestimado e ser ainda maior. Além disso, a população do lobo-guará no oeste de Santa Catarina pode se extinguir localmente em 50 anos se os níveis observados de atropelamentos persistirem na área (GRILLO *et al.*, 2021).

3.4 Medidas preventivas às colisões entre veículos e animais silvestres

Em todo o mundo, os estudos que dizem respeito à Ecologia de Rodovias têm sido aplicados para mitigar os efeitos maléficos, negativos ou indesejáveis das rodovias nos ambientes naturais e na fauna selvagem. Em áreas onde é preciso reestabelecer a conectividade entre ambientes, é necessário que sejam implantados corredores, como por exemplo, as passagens de fauna (Figura 1). Essa construção permite não só reestabelecer a conectividade estrutural e funcional entre paisagens (ABRA, 2012), mas também a diminuição do número de atropelamentos de animais selvagens nas rodovias (BOND & JONES, 2008; CORTLATTI *et al.*, 2009). Dessa forma, além da necessidade de placas de sinalização para que os condutores se atentem às possíveis travessias de fauna, assim como placas de diminuição da velocidade, urge a necessidade da construção de corredores de fauna apropriadas para a travessia de animais selvagens, que estejam de acordo com a paisagem, tipo de *habitat* afetado e as espécies-alvo (ASCENÇÃO & MIRA, 2006).



FIGURA 1. Passagem de fauna na Rodovia Tamoios no município de Paraibuna (SP). Fonte: Desenvolvimento Rodoviário S.A. (DERSA).

A utilização de duas ou mais medidas mitigatórias em sinergismo podem aumentar consideravelmente a eficácia na prevenção de colisões entre a fauna selvagens e os veículos. Se bem-sucedidas e efetivas nas travessias de animais, a construção de estruturas como os corredores de fauna restituem a conexão entre fragmentos ambientais e dessa forma, contempla-se a conservação da biodiversidade local (Figura 2) (LUCAS *et al.*, 2018).



FIGURA 2. Registro de Irara (*Eira barbara*) atravessando passagem de fauna localizada na Rodovia Tamoios no município de Paraibuna (SP). Fonte: Concessionária Tamoios.

Uma opção viável de corredores de fauna seria as do tipo condutores, que promovem e aumentam a capacidade dos animais de se deslocarem entre as manchas de *habitat*. As passagens de fauna – que podem ser subterrâneas ou aéreas – devem sempre ser empregadas juntamente com as cercas de condução; ambas as estruturas fazem parte de um conceito único para manter a conectividade entre populações de animais. Sendo assim, na tentativa de um indivíduo atravessar a rodovia, ele é primeiramente impedido pelas cercas, que funcionam como uma barreira física e servem como guias para conduzir o animal até as passagens de fauna (ABRA, 2012).

Dentre as passagens subterrâneas, existem as galerias (Figura 3), consideradas passagens de uso misto, possibilitando a travessia tanto de animais aquáticos como semiaquáticos, ou ainda, espécies que realizam deslocamento acompanhando cursos d'água (BECKMANN *et al.*, 2010). Como alternativa para certas espécies, pode ser empregada as caixas secas (Figura 4), estruturas que visam a passagem de animais que não se deslocam por água ou ambientes úmidos. Além disso, existem as passagens aéreas, uma opção muito interessante para vertebrados arborícolas – como primatas e marsupiais – que tem como objetivo conectar *habitats* florestais separados por rodovias (Figura 5 e 6) (ABRA, 2012).



FIGURA 3. Passagem subterrânea do tipo galeria, com passagens secas nas laterais para animais que não se deslocam por água ou ambientes úmidos na BR-158, no município de Confresa (MT). Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).



FIGURA 4. Passagem de fauna do tipo caixa seca, acompanhada de cerca condutora, na rodovia SP-225, localizada no município de Brotas (SP). Foto: Fernanda Delborgo Abra.



FIGURA 5. Passagem de fauna aérea localizada no km 65+610 da Rodovia Tamoios, no trecho de planalto de Caraguatatuba (SP). Fonte: Concessionária Tamoios.



FIGURA 6. Passagem de fauna aérea localizada no km 70,4 no trecho de Serra da Rodovia dos Tamoios. Fonte: Concessionária Tamoios.

Para garantir que a mitigação seja eficaz, é necessário identificar as espécies mais afetadas, bem como a causa dos efeitos, que deve ser abordada de forma específica, para que as mitigações apropriadas possam ser adaptadas para essas espécies impactadas. Como exemplo, se uma espécie tem como principal ameaça a mortalidade nas estradas por atropelamento, a mitigação deve ser direcionada para impedir que os animais se movam para as estradas. Assim, apenas a instalação de estruturas de travessia de fauna selvagem, como corredores de fauna, não solucionaria o problema em questão, a não ser que também fosse instalado juntamente com o corredor de fauna, cercas para impedir que os animais se aproximem das rodovias (RYTWINSKI & FAHRIG, 2015).

Para espécies que são perturbadas pelos distúrbios causados pelo tráfego – como luzes, ruído ou emissões de gases e/ou substâncias químicas dos veículos – os efeitos das rodovias podem ser mitigados por medidas voltadas a reduzir a densidade de estradas e tráfego na paisagem natural, como por exemplo, fechando estradas de forma estratégica. Uma alternativa de mitigação para esse caso seria aumentar a capacidade das rodovias fora de áreas importantes para a fauna selvagem. Além disso, soluções de engenharia que preveem a redução do ruído do tráfego (como por exemplo, alterações no pavimento de asfalto ou nos pneus dos veículos) poderiam mitigar parcialmente os efeitos dos distúrbios causados pelo tráfego. Por fim, para espécies que são majoritariamente afetadas pelas rodovias devido à fragmentação do *habitat*, a mitigação deve focar em melhorar a conectividade do *habitat* por meio da construção e instalação de estruturas de travessia para a fauna (RYTWINSKI & FAHRIG, 2015).

Quando há uma espécie em ameaça de extinção ou quando uma população está diminuindo ou em risco de extinção local devido a outros distúrbios ou modificações no ambiente, as rodovias devem ser mitigadas, mesmo que as estradas e seus efeitos negativos não sejam o motivo principal para o declínio ou ameaça à essa espécie. Mesmo que a taxa de mortalidade nas rodovias para tal espécie seja baixa, qualquer mortalidade adicional ou redução da conectividade de *habitat* pode levar essa espécie à extinção. Ademais, a resposta de espécies para as rodovias são, por vezes, dependentes do contexto, como por exemplo, o tipo de *habitat* estudado, as medidas da rodovia e do tráfego utilizadas e o tipo da rodovia estudada, ou até mesmo da localização. Dessa forma, os impactos das rodovias nas espécies em determinado local de interesse devem ser considerados cuidadosamente antes da construção e modificação de novas estradas (RYTWINSKI & FAHRIG, 2015).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O estado de São Paulo (248.209 km²) é um dos 26 estados no Brasil e está localizado no sudeste do país (Figura 7). O estado tem a maior densidade populacional do país, abrigando aproximadamente 45 milhões de pessoas, equivalente a cerca de 21% do total populacional do Brasil (IBGE, 2024). Em geral, possui clima tropical com diferenças sazonais em temperatura e precipitação (22-28°C em média, com precipitação anual de 1450 – 2050 mm). Entretanto, existem diferenças regionais nos padrões climáticos devido à elevação, declive e distância do Oceano Atlântico (INMET, 2019).

A área de estudo concentrou-se nas rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075), localizadas no estado de São Paulo. A rodovia Castelo Branco possui uma extensão de 315 km e é a principal ligação entre a Região Metropolitana de São Paulo e o Oeste Paulista. Ela tem seu início no Complexo Viário Heróis de 1932, no acesso às vias marginais Tietê e Pinheiros, em São Paulo, e termina na SP-225, em Santa Cruz do Rio Pardo (SP) (Figura 8). O tráfego de maior intensidade ocorre no trecho entre a divisa dos municípios de São Paulo, Osasco e Barueri e entre as Regiões Metropolitanas de São Paulo e Sorocaba. No restante do trajeto, a rodovia é a principal artéria do Oeste Paulista e serve de acesso à Rodovia Marechal Rondon, que completa a ligação entre São Paulo e o Centro-Oeste (Figuras 9 e 10). A Castelo Branco também atua como uma rota para a região Sul do país (oeste do Paraná) e países como Paraguai e Argentina.

Os dados fornecidos pela concessionária CCR não atenderam toda a extensão da rodovia Castelo Branco (SP-280), limitando-se ao trecho entre o km 13 até o 79 da rodovia. Esse trecho é administrado pela Viaoeste e engloba o tráfego de maior intensidade que ocorre desde o município de Osasco, passando por Barueri, Itapevi, São Roque e finalizando na saída para a cidade de Sorocaba, Votorantim e Itu. O trecho estudado nesta pesquisa corresponde a 22% da extensão total da rodovia Castelo Branco (SP-280).



FIGURA 7. Localização do estado de São Paulo, Brasil, com as principais rodovias demarcadas (linhas vermelhas). Fonte: IBGE.

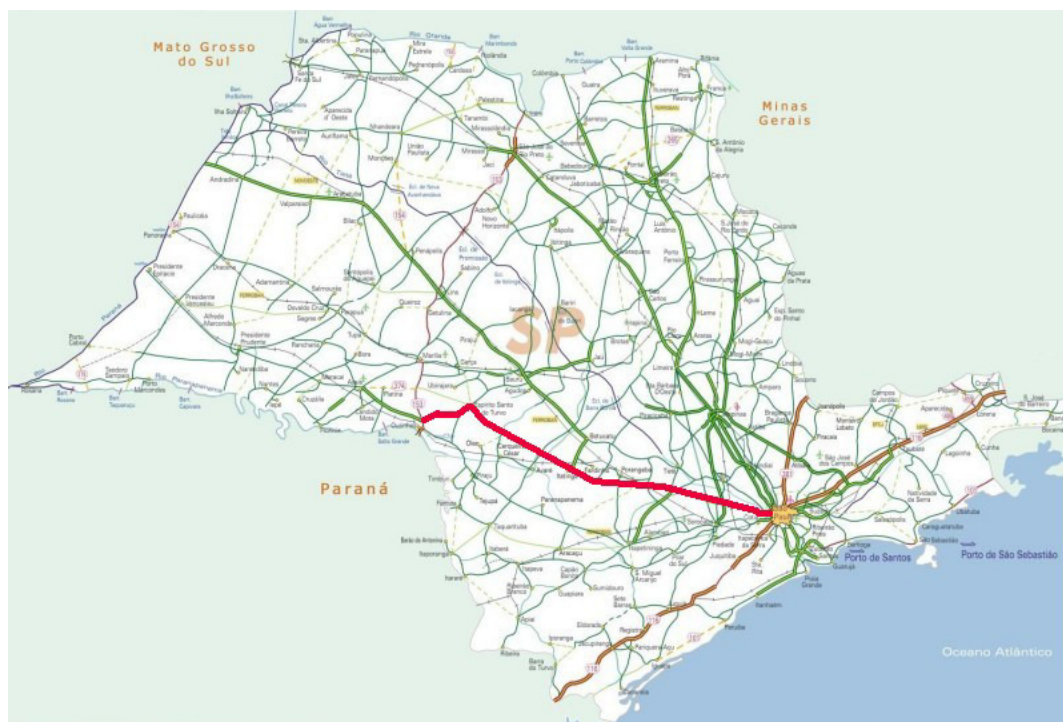


FIGURA 8. Mapa do estado de São Paulo com a rodovia Castelo Branco (SP-280) demarcada (linha vermelha). Fonte: Renato M.E. Sabbatini.



FIGURA 9. Trecho da rodovia Castelo Branco (SP-280) em Osasco, localizado no estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Webysther Nunes.



FIGURA 10. Trevo da rodovia Castelo Branco (SP-280), no km 241, no cruzamento com a SP-255, no município de Avaré, localizado no estado de São Paulo, Brasil. Fonte: José Reynaldo da Fonseca.

A rodovia Raposo Tavares (SP-270) possui uma extensão de 654 km, sendo o primeiro acesso da capital de São Paulo ao Oeste Paulista. Ela tem seu início no bairro Butantã, na zona sul de São Paulo, e passa por 30 municípios até terminar no município Presidente Epitácio (SP), na divisa com o Mato Grosso do Sul (Figura 11). A rodovia passa por cidades como Assis, Cotia, Osasco, Presidente Prudente (Figura 12), São Paulo, São Roque, Sorocaba, Votorantim, entre outros. Os dados fornecidos pela concessionária CCR não atenderam toda a extensão da rodovia Raposo Tavares (SP-270), limitando-se ao trecho entre o km 0 e o km 115. Esse trecho é administrado pelo Departamento de Estradas e Rodagem (DER-SP) (até o km 34) e pela Viaoeste (até o km 115) e passa pela capital de São Paulo, na cidade de São Paulo até o bairro Granja Viana, no município de Cotia, e finalizando no acesso as cidades de Sorocaba, Itu, Salto e Votorantim. O trecho estudado nesta pesquisa corresponde a 17% da extensão total da Raposo Tavares (SP-270).

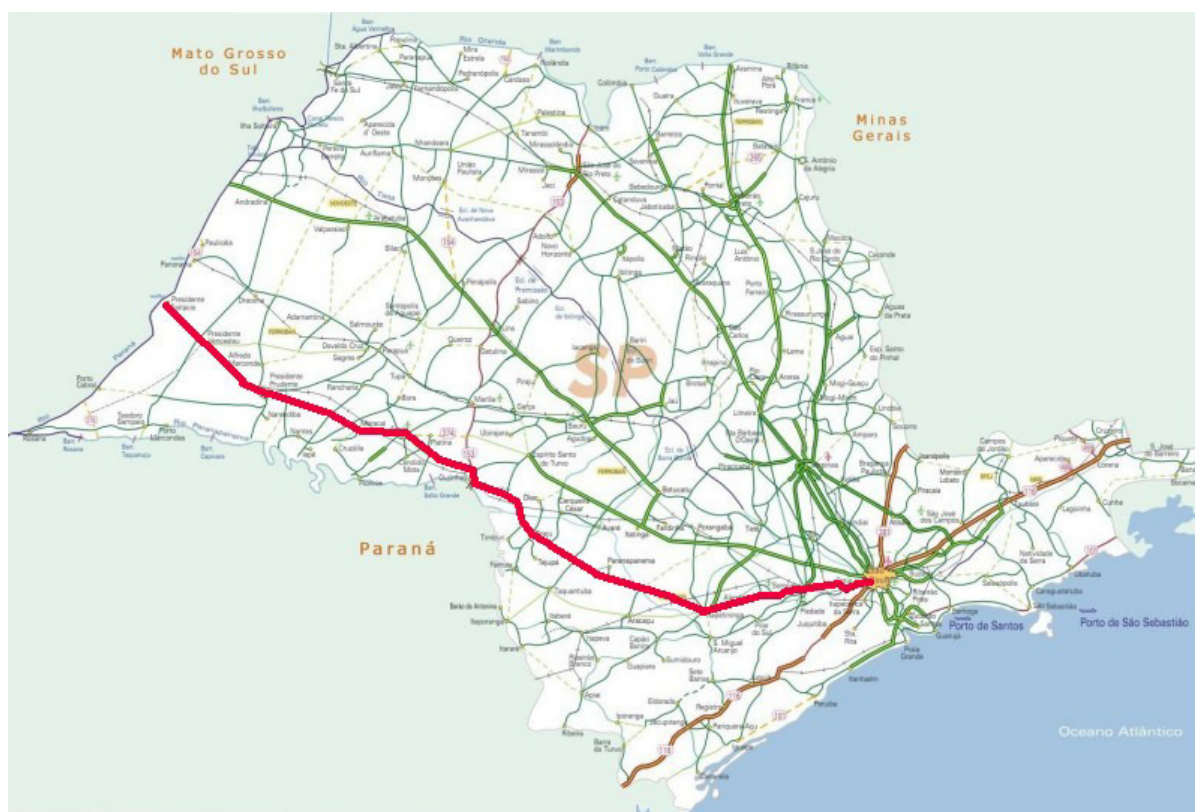


FIGURA 11. Mapa do estado de São Paulo com a rodovia Raposo Tavares (SP-270) demarcada (linha vermelha). Fonte: Domínio público (Wikimedia Commons).



FIGURA 12. Rodovia Raposo Tavares (SP-270) no município de Presidente Prudente, localizada no estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Concessionária Auto Raposo Tavares S.A (CART).

A rodovia Santos Dumont (SP-075) possui uma extensão de 77,6 km e conecta os municípios de Sorocaba, Itu, Salto, Indaiatuba e Campinas, atravessando diversos bairros densamente povoados dessas cidades (Figura 13 e 14). A rodovia teve sua duplicação pela DERSA (Desenvolvimento Rodoviário S.A.) e ela representa a principal ligação da cidade de Campinas e o trevo de acesso ao Aeroporto Internacional de Viracopos. Além disso, ao longo da rodovia, localiza-se o Distrito Industrial de Campinas, que abriga uma grande quantidade de indústrias de diversos setores e empresas de logística. O volume diário médio de tráfego na rodovia em 2020 foi de 80.543 veículos, número que subiu para 87.341 veículos em 2021. Em 2022, o volume médio diário foi de 103.691 veículos e, em 2023, 103.268 veículos (DER, 2025). Os dados fornecidos pela concessionária CCR não atenderam toda a extensão da rodovia Santos Dumont (SP-075), limitando-se ao trecho entre o km 0 até o km 14 da rodovia. Esse trecho passa pelos municípios de Itu e Sorocaba e corresponde a 18% da extensão total da Santos Dumont (SP-075).

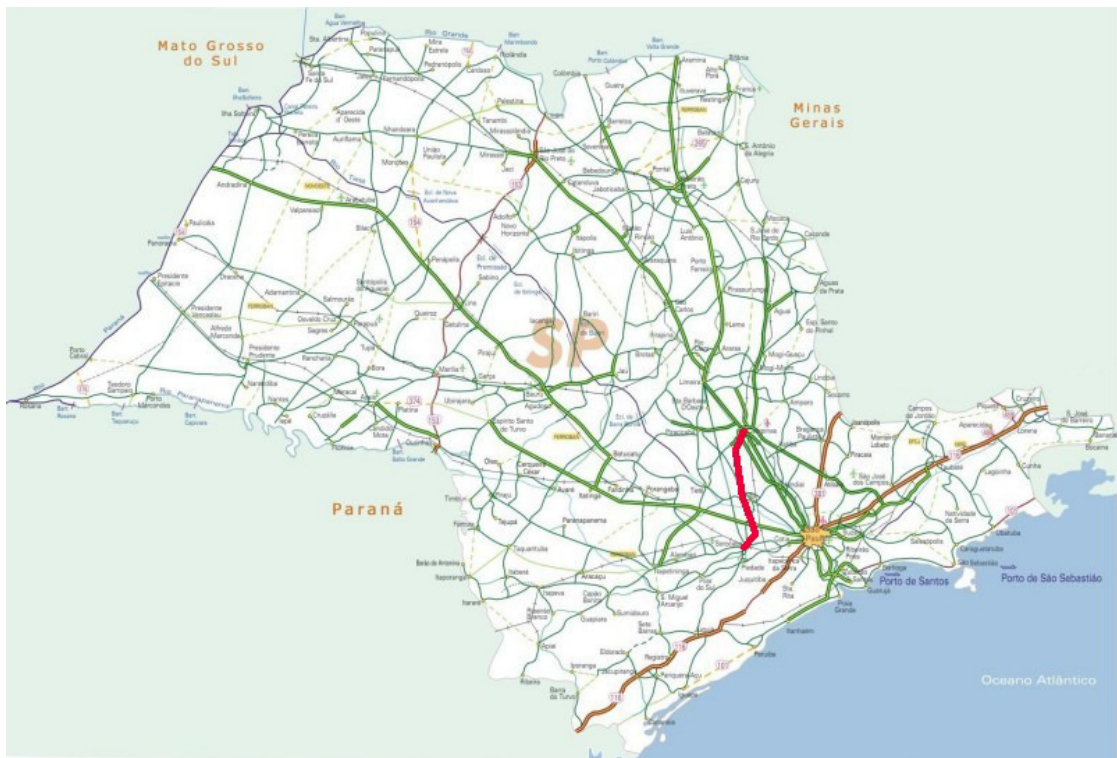


FIGURA 13. Mapa do estado de São Paulo com a rodovia Santos Dumont (SP-075) demarcada (linha vermelha). Fonte: Renato M.E. Sabbatini.



FIGURA 14. Rodovia Santos Dumont (SP-075). Fonte: Alessandro Torres.

4.2 Protocolo de Análise e Coleta de Dados

Foram analisados dados de atropelamento de fauna nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), coletados e fornecidos pela empresa concessionária das rodovias e do Departamento de Estradas e Rodagem (DER) entre os períodos de 1º de janeiro de 2020 até 31 de dezembro de 2022, totalizando 36 meses de amostragem. Nesse período, foi realizado o levantamento dos espécimes de aves, mamíferos e répteis mortos por atropelamento. Para cada indivíduo encontrado, foi feito o registro das informações na planilha de dados.

A fim de reunir o maior número possível de informações sobre os atropelamentos de fauna, a planilha de dados foi preenchida com informações detalhadas sobre cada ocorrência registrada, incluindo o número da ocorrência, as coordenadas geográficas (UTM E e UTM N – sistema de coordenadas *Universal Transverse Mercator*, sendo E para coordenada no sentido leste-oeste e N para coordenada no sentido norte-sul), o fuso horário correspondente (UTM), e a característica da via onde o evento foi registrado. Além disso, a planilha também incluiu dados sobre as características do entorno, a data e a hora do evento, a rodovia onde ocorreu o atropelamento, o quilômetro, o sentido da via e a categoria do animal envolvido (doméstico ou silvestre). Outras informações abrangem a classe do animal – mamífero, réptil ou ave – o nome popular e nome científico do animal, a quantidade de indivíduos, o tipo de ocorrência, a situação do animal e a destinação final. No caso de atropelamento animal, o indivíduo pode ser afugentado ou devolvido ao proprietário (em se tratando de animais domésticos), caso esteja apto a se locomover sem ferimentos graves. Alternativamente, pode ser encaminhado a uma clínica veterinária ou instituição de pesquisa para receber cuidados, ou, em casos fatais, enterrado nas margens da via. A planilha também registra as coordenadas de soltura ou enterramento (UTM E e UTM N) e o fuso correspondente, além de observações relevantes sobre o evento.

A análise dos dados planilhados teve como objetivo investigar a rodovia com o maior número de ocorrência de atropelamento de fauna, a categoria animal mais afetada – doméstico ou silvestre – e a classe de animais mais atingida – mamífero, réptil ou ave – entre as três rodovias em questão. Também foi analisada a frequência de acidentes envolvendo atropelamento de fauna em diferentes períodos do dia. Os dados foram distribuídos em quatro intervalos: 00:00h às 06:00h (Período 1), 06:00h às 12:00h (Período 2), 12:00h às 18:00h (Período 3) e 18:00h às 23:59h (Período 4). Foram comparadas as proporções de atropelamentos entre as diferentes rodovias e categorias (categoria de animal, classe de animal e período do dia), utilizando o Teste para Igualdade de Proporções entre duas Amostras Independentes, sem correção de continuidade de Yates, visto que as amostras eram

grandes e independentes. Os testes estatísticos foram feitos no *software* RStudio (versão 3.6.3).

O estudo dos dados estruturados em planilha permitiu identificar os principais pontos com maior índice de atropelamento de fauna ao longo das rodovias em questão. Com essas informações, foi elaborado um mapa de calor para a visualização dos *hot spots* nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), indicando as áreas com maior índice de atropelamento de fauna. Para a realização das análises de dados utilizados na construção do mapa de calor, foi utilizado a interface de linha de comando chamada Git Bash. Utilizando-se essa interface, foi utilizado o comando `cd js-samples` e `npm start` para gerar o mapa de calor disponível no local: <http://localhost:5173/>. A utilização dos mapas de calor permite a visualização e análise de grandes volumes de dados e informações, facilitando a identificação de tendências e padrões relevantes para o estudo. Por fim, foram sugeridas medidas mitigatórias eficazes para as rodovias em estudo, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais e garantir a segurança da fauna e dos usuários.

4.3 Avaliação estatística

O método estatístico utilizado em todas as análises estatísticas foi o Teste de Igualdade de Proporções entre Duas Amostras Independentes. Não foi aplicada a correção de continuidade de Yates em nenhuma das análises, uma vez que o tamanho das amostras permitia uma abordagem mais precisa. A primeira análise realizada foi a estatística descritiva de acidentes envolvendo animais nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075) para evidenciar a quantidade e proporção de acidentes por rodovia.

Em seguida, foi realizada uma análise estatística comparando as proporções populacionais de acidentes nas três rodovias (Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075)) do estado de São Paulo. Foram aplicados dois testes estatísticos a fim de comparar as proporções populacionais de acidentes nas rodovias: o primeiro teste comparou as rodovias SP-270 e SP-280, e o segundo teste utilizou as rodovias SP-270 e SP-075. Para o primeiro teste, realizou-se um estudo estatístico com o objetivo de testar a igualdade dessas proporções. A formulação das hipóteses foi a seguinte:

- **Hipótese Nula (H_0):** Não há diferença entre as proporções de acidentes nas rodovias SP-270 e SP-280, ou seja, as proporções são iguais.
- **Hipótese Alternativa (H_1):** A proporção de acidentes na rodovia SP-270 é

inferior à da rodovia SP-280.

No segundo teste, o intuito foi comparar a frequência de acidentes envolvendo animais nas rodovias Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075). A análise teve como objetivo verificar se há uma diferença significativa entre as duas rodovias em relação à quantidade de acidentes registrados. Foram formuladas as seguintes hipóteses:

- **Hipótese Nula (H_0):** Proporção de acidentes entre as rodovias SP-270 e SP-075 são iguais.
- **Hipótese Alternativa (H_1):** Proporção de acidentes na rodovia SP-270 é superior à da SP-075.

A próxima análise foi a estatística descritiva de acidentes por categoria de animal – doméstico ou silvestre – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075) do estado de São Paulo. Na sequência, foi realizada a comparação entre as proporções populacionais de acidentes entre animais domésticos e silvestres nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075) do estado de São Paulo. A partir desta análise, foram feitos testes adicionais. O primeiro teste teve como objetivo comparar a quantidade de acidentes envolvendo animais domésticos nas rodovias Raposo Tavares (SP-270) e Castelo Branco (SP-280). A análise buscou entender se há uma diferença significativa na proporção de acidentes com estes animais entre as duas rodovias, ajudando a identificar qual delas apresenta maior risco neste tipo de acidente. Foram formuladas as seguintes hipóteses:

- **Hipótese Nula (H_0):** Proporção de acidentes envolvendo animais domésticos entre as rodovias SP-270 e SP-280 são iguais.
- **Hipótese Alternativa (H_1):** Proporção de acidentes envolvendo animais domésticos na rodovia SP-270 é menor que na rodovia SP-280.

O segundo teste teve como finalidade comparar a quantidade de acidentes envolvendo animais silvestres nas rodovias Raposo Tavares (SP-270) e Castelo Branco (SP-280). Foram formuladas as seguintes hipóteses:

- **Hipótese Nula (H_0):** Proporção de acidentes envolvendo animais silvestres entre as rodovias SP-270 e SP-280 são iguais.
- **Hipótese Alternativa (H_1):** Proporção de acidentes envolvendo animais silvestres na rodovia SP-270 é menor que na rodovia SP-280.

A análise seguinte foi uma análise estatística descritiva de acidentes por classe de animal – mamíferos, aves ou répteis – nas rodovias Raposo Tavares (SP-

270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075) do estado de São Paulo. Foram formuladas as seguintes hipóteses:

- **Hipótese Nula (H_0):** Proporção de acidentes envolvendo mamíferos entre as rodovias SP-270 e SP-280 são iguais.
- **Hipótese Alternativa (H_1):** Proporção de acidentes envolvendo mamíferos na rodovia SP-270 é menor que na rodovia SP-280.

Foi também desenvolvida uma estatística descritiva dos acidentes ocorridos ao longo de 24 horas nas rodovias estudadas. Essa análise teve como base a quantidade de acidentes registrados em diferentes horários do dia nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075). Os dados foram divididos em quatro períodos: 00:00h às 06:00h (Período 1), 06:00h às 12:00h (Período 2), 12:00h às 18:00h (Período 3) e 18:00h às 23:59h (Período 4). O horário das ocorrências de atropelamentos foi registrado quando o animal foi encontrado e recolhido na rodovia pela CCR.

O primeiro teste desenvolvido a partir destes dados foi uma comparação estatística entre proporções de acidentes envolvendo animais na rodovia Raposo Tavares (SP-270), considerando dois períodos específicos: o período 3 (das 12:00h às 18:00h) e o período 4 (das 18:00h às 23:59h). Foram formuladas as seguintes hipóteses:

- **Hipótese Nula (H_0):** Proporção de acidentes envolvendo animais na rodovia SP-270 é igual para os períodos 3 e 4.
- **Hipótese Alternativa (H_1):** A proporção de acidentes envolvendo animais na rodovia SP-270 é maior para o período 3, se comparada com o período 4.

O segundo teste estatístico desenvolvido a partir dos dados obtidos teve como objetivo comparar a proporção de acidentes envolvendo animais na rodovia Castelo Branco (SP-280), considerando os períodos 1 (00:00h às 06:00h) e 4 (18:00h às 23:59h). Foram formuladas as seguintes hipóteses:

- **Hipótese Nula (H_0):** Proporção de acidentes envolvendo animais na rodovia SP-280 é igual para os períodos 1 e 4.
- **Hipótese Alternativa (H_1):** A proporção de acidentes envolvendo animais na rodovia SP-280 é menor para o período 1, se comparada com o período 4.

Por fim, o último teste estatístico aplicado teve como finalidade comparar a proporção de acidentes envolvendo animais na rodovia Santos Dumont (SP-075), considerando dois períodos específicos: o período 1 (00:00h às 06:00h) e o período 4 (18:00h às 23:59h). A análise buscou verificar se existe diferença significativa

entre esses dois períodos em relação aos acidentes com animais. Foram formuladas as seguintes hipóteses:

- **Hipótese Nula (H_0):** Proporção de acidentes envolvendo animais na rodovia SP-075 é igual para os períodos 1 e 4.
- **Hipótese Alternativa (H_1):** A proporção de acidentes envolvendo animais na rodovia SP-075 é maior para o período 1, se comparada com o período 4.

5. RESULTADOS

Durante o período de estudo, entre os anos de 2020 a 2022, verificou-se 1.647 colisões veiculares envolvendo animais. A Figura 15 apresenta o número de atropelamentos envolvendo animais em cada rodovia. A maioria dos atropelamentos (48,7%) foi registrada na rodovia Castelo Branco (SP-280), seguido por 42,7% da rodovia Raposo Tavares (SP-270), e por fim 8,6% na rodovia Santos Dumont (SP-075) (Tabela 1).

TABELA 1. Estatística descritiva de acidentes envolvendo animais nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), quantidade de acidentes (N) e proporção de acidentes (%), nos anos de 2020 a 2022.

Rodovia	Quantidade de acidentes (N)	Proporção de acidentes (%)
SP-270	704	42,7%
SP-280	802	48,7%
SP-075	141	8,6%

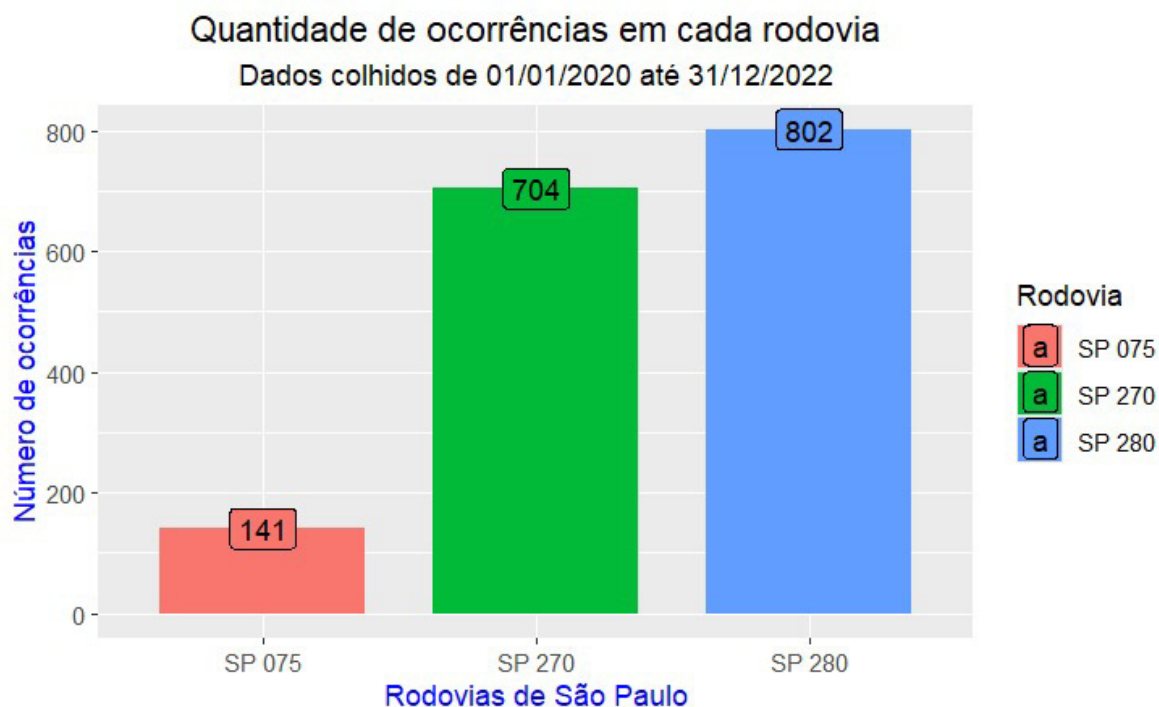


FIGURA 15. Quantidade de atropelamentos envolvendo animais nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), na cor verde, Castelo Branco (SP-280), na cor azul, e Santos Dumont (SP-075), na cor laranja.

Na investigação da diferença nas proporções de acidentes entre duas rodovias de São Paulo, SP-270 e SP-280, o teste revelou um p-valor de 0,000176, levando à rejeição da hipótese de igualdade das proporções. Assim, observou-se que a proporção de acidentes na rodovia Raposo Tavares (SP-270) é estatisticamente menor do que na rodovia Castelo Branco (SP-280), ou seja, aponta para uma maior suscetibilidade da rodovia SP-280 a acidentes com animais.

Na comparação da frequência de acidentes envolvendo animais entre as rodovias SP-270 e SP-075, verificou-se que a rodovia SP-270 é mais suscetível ($p < 0.0000001$) a apresentar acidentes com animais do que a rodovia SP-075.

No estudo de acidentes por categoria de animal – doméstico ou silvestre – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075) do estado de São Paulo. Dentre os 1.647 animais afetados por colisões veiculares nas três rodovias estudadas, observou-se um total de 1.471 animais domésticos atropelados nas rodovias, enquanto o número de animais silvestres atropelados foi de 176 indivíduos. Foi possível identificar que a rodovia Castelo Branco (SP-280) foi a rodovia com mais atropelamentos, tanto de animais silvestres quanto de animais domésticos, seguido da rodovia Raposo Tavares (SP-270), e por fim, a rodovia Santos Dumont (SP-075) (Tabela 2 e Figura 16).

TABELA 2. Estatística descritiva da quantidade de acidente nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), categoria de animal – domésticos ou silvestres – com porcentagem (%) em relação ao total de acidentes da rodovia em questão e total de animais atropelados (N), no período de 2020 a 2022.

Rodovia	Animais domésticos	Animais silvestres	Total de animais atropelados na rodovia (N)
SP-270	639 (90,8%)	65 (9,2%)	704
SP-280	713 (88,9%)	89 (11,1%)	802
SP-075	119 (84,4%)	22 (15,6%)	141

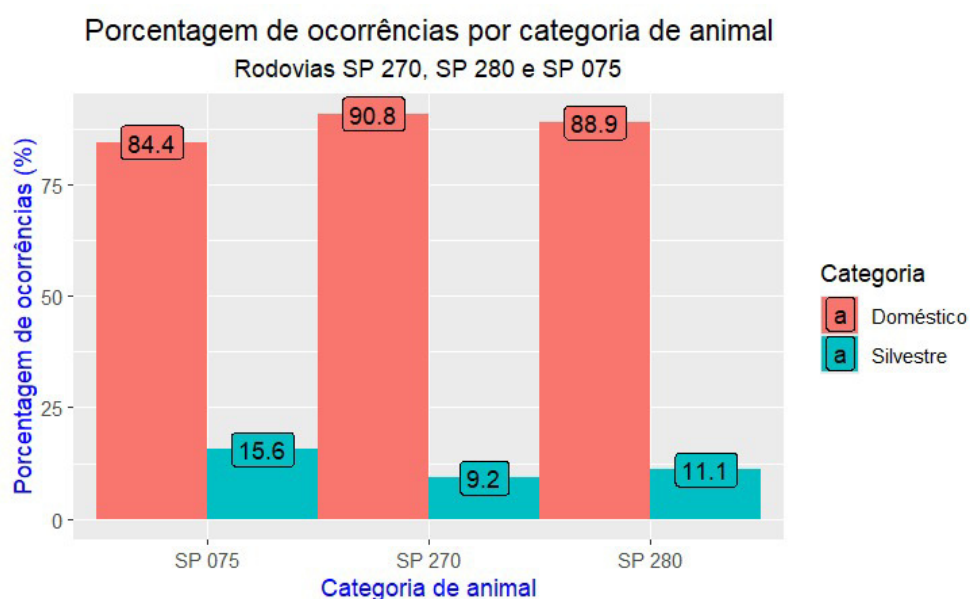


FIGURA 16. Porcentagem de ocorrências de atropelamentos por categoria de animal – animais domésticos (na cor laranja) e silvestres (na cor azul) – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), no período de 2020 a 2022.

A análise comparando as proporções populacionais de acidentes entre animais domésticos e silvestres nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075) do estado de São Paulo estão apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3. Quantidade de acidentes, por categoria de animal – domésticos ou silvestres – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), com porcentagem (%) em relação ao total da categoria de animal e total de animais atropelados (N), no período de 2020 a 2022.

Categoria de animal	SP-270	SP-280	SP-075	Total de animais atropelados (N)
Animais domésticos	639 (43,4%)	713 (48,5%)	119 (8,1%)	1.471
Animais silvestres	65 (36,9%)	89 (50,6%)	22 (12,5%)	176

Realizando a comparação da quantidade de acidentes envolvendo animais domésticos nas rodovias Raposo Tavares (SP-270) e Castelo Branco (SP-280) (p-valor = 0.0031), a proporção de acidentes com animais domésticos na rodovia SP-270 é menor que na rodovia SP-280.

Ao comparar a quantidade de acidentes envolvendo animais silvestres nas rodovias Raposo Tavares (SP-270) e Castelo Branco (SP-280) (p-valor = 0.00496), a quantidade de acidentes com animais silvestres na rodovia SP-270 é estatisticamente menor que na rodovia SP-280. Assim, a rodovia Castelo Branco (SP-280) é estatisticamente mais suscetível a apresentar acidentes com animais silvestres e domésticos do que a rodovia Raposo Tavares (SP-270).

A análise seguinte foi a descritiva de acidentes por classe de animal – mamíferos, aves ou répteis – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075) do estado de São Paulo, englobando tanto animais silvestres quanto domésticos (Tabela 4).

Dentre os 1.647 animais afetados por colisões veiculares nas rodovias estudadas, observa-se que a classe de mamíferos foi a mais afetada, com 767 mamíferos atropelados na rodovia Castelo Branco (SP-280), 681 na rodovia Raposo Tavares (SP-270) e 131 na rodovia Santos Dumont (SP-075), totalizando 1.579 mamíferos afetados por atropelamentos nas três rodovias estudadas. Já na classe de aves, o número de indivíduos é expressivamente menor nas três rodovias, sendo 17 atropelados na rodovia Raposo Tavares (SP-270), 22 na rodovia Castelo Branco (SP-280) e seis na rodovia Santos Dumont (SP-075), totalizando 45 aves afetadas por colisões veiculares. Por fim, os répteis foram a classe de animal que tiveram o menor número amostral, com seis afetados na rodovia Raposo Tavares (SP-270),

13 na rodovia Castelo Branco (SP-280) e quatro na rodovia Santos Dumont (SP-075), totalizando 23 répteis atropelados (Tabela 5). Foi realizado um gráfico para melhor visualizar a porcentagem de ocorrências por classe de animal nas rodovias estudadas (Figura 17). O teste revela que a rodovia Castelo Branco (SP-280) é estatisticamente mais suscetível ($p = 0.001066$) a apresentar acidentes com mamíferos, que a rodovia Raposo Tavares (SP-270).

TABELA 4. Quantidade de acidentes, por classe de animal – mamíferos, aves e répteis – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), com a porcentagem (%) de cada classe de animal em relação ao total de acidentes em cada rodovia (N).

Rodovia	Mamíferos	Aves	Répteis	Total de animais da Rodovia (N)
SP-270	681 (96,7%)	17 (2,4%)	6 (0,9%)	704
SP-280	767 (95,9%)	22 (2,8%)	13 (1,4%)	802
SP-075	131 (92,9%)	6 (4,3%)	4 (2,8%)	141

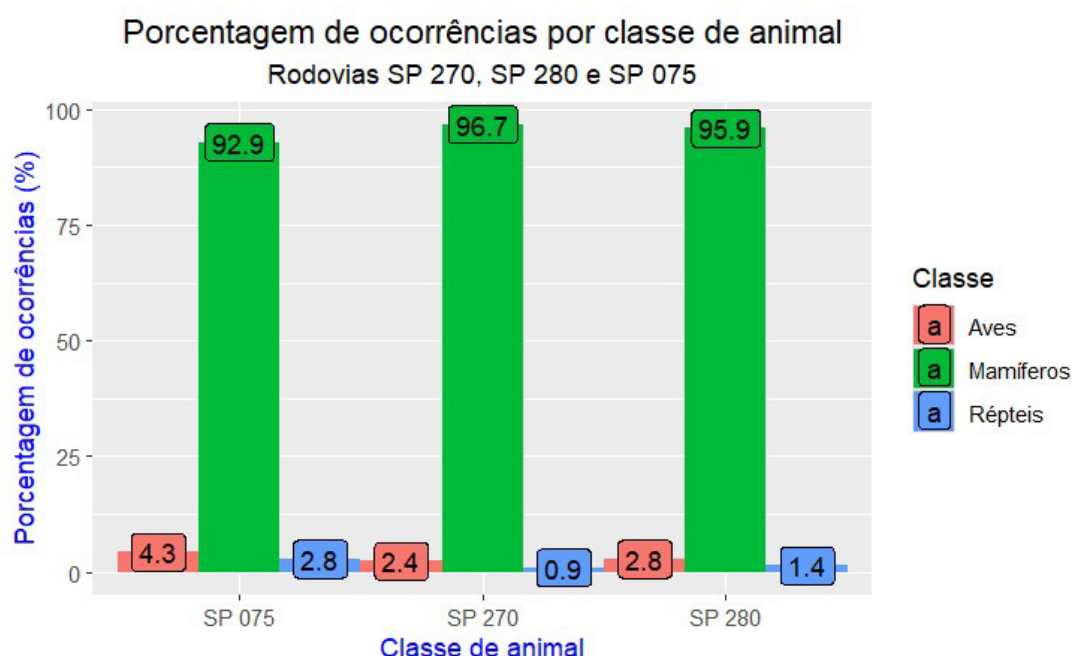


FIGURA 17. Porcentagem de ocorrências de atropelamentos por classe de animal – aves (na cor laranja) mamíferos (na cor verde) e répteis (na cor azul) – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075).

TABELA 5. Quantidade de acidentes, por classe de animal – mamíferos, aves e répteis – nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), com a porcentagem (%) de cada classe de animal em relação ao total de acidentes em cada rodovia (N).

Classe de Animal	SP-270	SP-280	SP-075	Total (N)
Mamíferos	681 (30,1%)	767 (33,9%)	131 (5,8%)	1.579
Aves	17 (37,8%)	22 (48,9%)	6 (13,3%)	45
Répteis	6 (28,6%)	13 (53,4%)	4 (19,1%)	23

Com relação à análise de acidentes por períodos do dia, entre 06:00 e 12:00h, o número de acidentes nas rodovias foi o maior, com 680 indivíduos afetados por colisões veiculares, sendo o mais crítico em termos de ocorrência de acidentes com animais. Em seguida, o período entre 12:00 e 18:00h teve um total de 448 atropelamentos de animais, seguido do período entre 18:00 e 23:59h, com 298 acidentes, e por fim, o período menos movimentado em termos de acidentes, entre 00:00 e 06:00h, com 221 acidentes envolvendo animais. Dentre todas os períodos e rodovias, a rodovia Castelo Branco (SP-280), no período entre 06:00h e 12:00h, apresentou o maior número de atropelamentos de animais. Em contrapartida, a rodovia Santos Dumont (SP-075) no período entre 18:00h e 23:59h apresentou o menor número de atropelamentos de animais, com 16 ocorrências (Tabela 6). A Figura 18 ilustra a porcentagem de ocorrências de atropelamentos por horário do dia nas rodovias em questão.

TABELA 6. Quantidade de acidentes envolvendo animais, por períodos do dia, nas rodovias Raposo Tavares (SP-270), Castelo Branco (SP-280) e Santos Dumont (SP-075), com a porcentagem de cada período em relação ao total de acidentes das rodovias (N).

Rodovia	Período 1 (00:00 às 06:00h)	Período 2 (06:00 às 12:00h)	Período 3 (12:00 às 18:00h)	Período 4 (18:00 às 23:59h)	Total da Rodovia (N)
SP-270	100 (14,2%)	279 (39,6%)	177 (25,1%)	148 (21,0%)	704
SP-280	104 (13,0%)	337 (42,0%)	227 (28,3%)	134 (16,7%)	802
SP-075	17 (12,1%)	64 (45,4%)	44 (31,2%)	16 (11,3%)	141

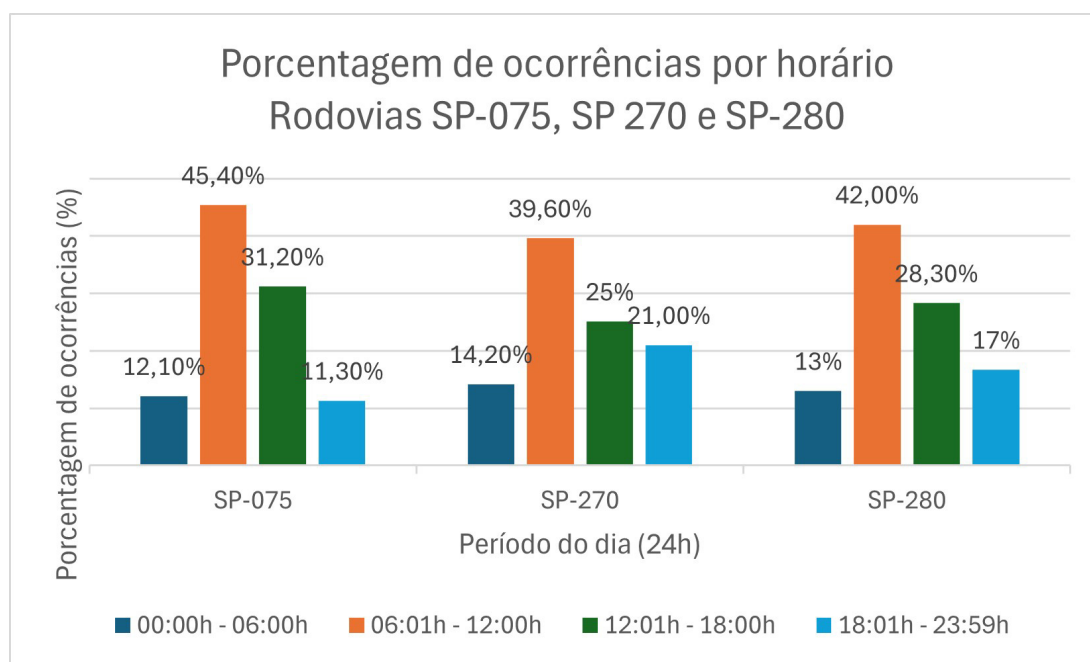


FIGURA 18. Porcentagem de ocorrências de atropelamentos de animais silvestres e domésticos por período do dia (24h) – das 00:00h às 06:00h (na cor azul escuro), das 06:01h às 12:00h (na cor laranja), das 12:01h às 18:00h (na cor verde) e das 18:01h às 23:59h (na cor azul claro) – nas rodovias Santos Dumont (SP-075), Raposo Tavares (SP-270) e Castelo Branco (SP-280).

Verificou-se na rodovia SP-270 que o período das 12:00h às 18:00h (período 3) é mais suscetível ($p = 0.03331$) a apresentar acidentes com animais do que o

período das 18:00h às 23:59h (período 4). Assim sendo, a comparação entre os períodos de acidentes na rodovia Raposo Tavares (SP-270), com confiança de 95%, ficou da seguinte forma: $P2 > P3 > P4 > P1$.

No caso da rodovia SP-280, verificou-se que o período 4 é mais suscetível a apresentar acidentes ($p = 0.01755$) com animais do que o período 1. Isto posto, a comparação entre os períodos de acidentes na rodovia SP-280, com 95% de confiança, segue a ordem: $P2 > P3 > P4 > P1$.

Por fim, na rodovia SP-075, observou-se que a proporção de acidentes envolvendo animais é igual (0.4265) para os períodos 1 e 4. Portanto, a comparação entre as proporções de acidentes com animais, na rodovia SP-075, por período, com confiança de 95%, ficou da seguinte maneira: $P2 > P3 > P4 = P1$.

O mapa de calor gerado a partir dos dados planilhados de atropelamento de fauna nas rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075) mostra que os as áreas de maior incidência de atropelamentos envolvendo animais estão concentrados na região de Barueri, Osasco e próximo de Sorocaba, no município de Aparecida. As cores mais quentes (vermelho e laranja) indicam maior densidade de eventos, enquanto as cores frias (verde e azul) representam menor frequência de atropelamento de fauna (Figura 20 e 21). Nas Figuras 22 a 25, imagens obtidas por meio do Street View do Google Maps mostram trechos das rodovias estudadas com altos índices de atropelamento de animais silvestres e domésticos.

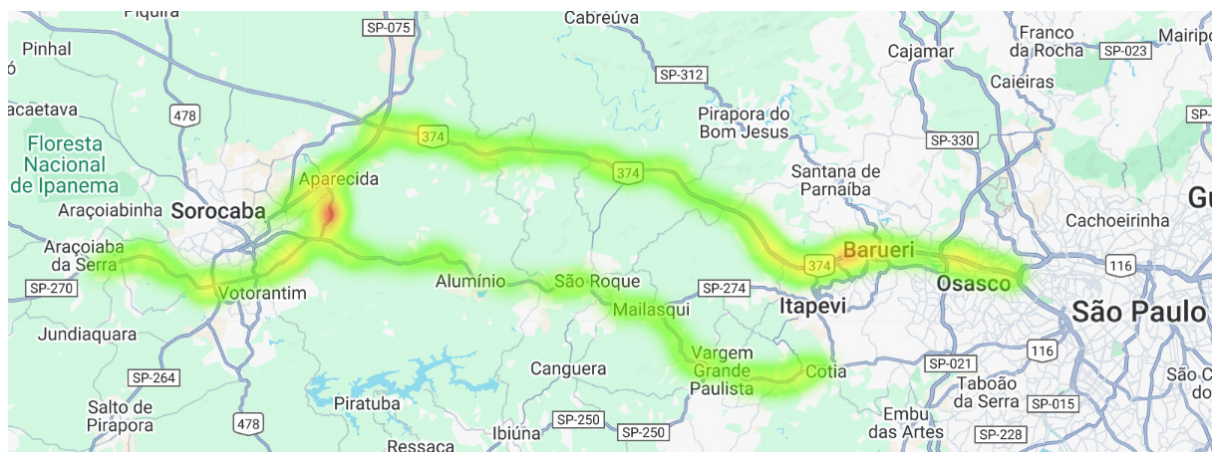


FIGURA 19. Mapa de calor nas rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075), indicando as regiões com maior índice de atropelamento envolvendo fauna. As cores quentes (vermelho e laranja) representam áreas com maior densidade de ocorrências e as cores frias (verde e azul) representam menor frequência de atropelamento de fauna.

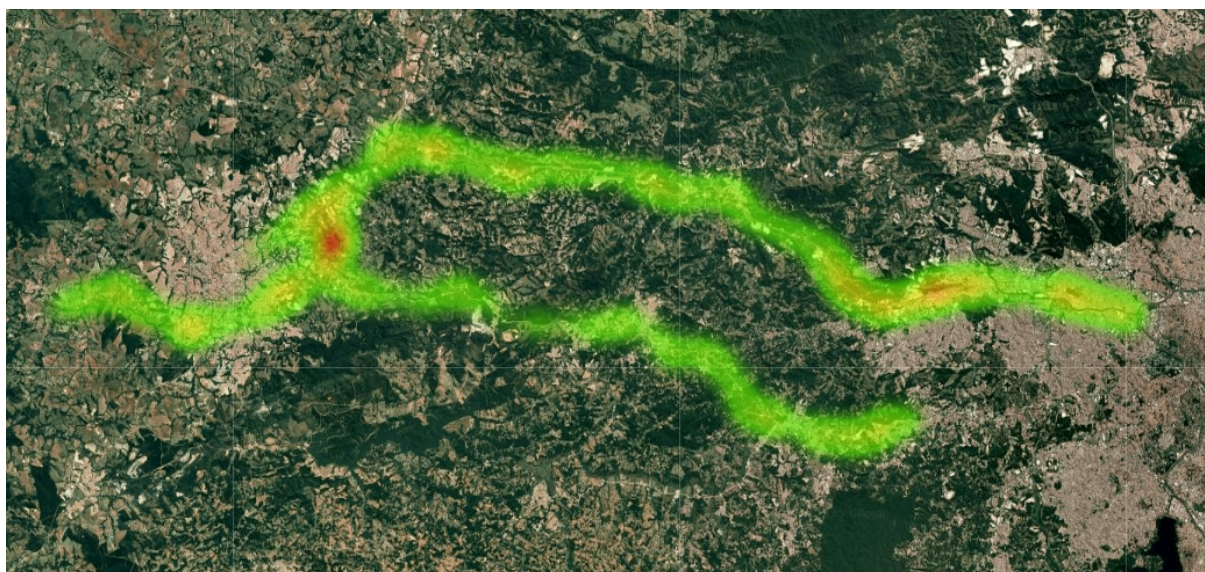


FIGURA 20. Mapa de calor com imagem de satélite, nas rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075), indicando as regiões com maior índice de atropelamento envolvendo fauna. As cores quentes (vermelho e laranja) representam áreas com maior densidade de ocorrências e as cores frias (verde e azul) representam menor frequência de atropelamento de fauna.



FIGURA 21. Imagem do Google Maps de um trecho da rodovia Celso Charuri (SPA-91/270), via que interliga as rodovias Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075), identificado com alto índice de atropelamento de fauna. Fonte: Google Maps, 2024.



FIGURA 22. Imagem do Google Maps de um trecho da rodovia Raposo Tavares (SP-270), no município de Sorocaba, identificado com alto índice de atropelamento de fauna. Fonte: Google Maps, 2024.



FIGURA 23. Imagem do Google Maps de um trecho da rodovia Raposo Tavares (SP-270), no município de Sorocaba, identificado com índice de atropelamento de fauna; vista a partir do lado oposto da via. Fonte: Google Maps, 2024.



FIGURA 24. Imagem do Google Maps de um trecho da rodovia Castelo Branco (SP-280), no município de Barueri, identificado com alto índice de atropelamento de fauna. Fonte: Google Maps, 2024.

6. DISCUSSÃO

O número total de atropelamentos detectados nas rodovias estudadas – Raposo Tavares (SP-280), Castelo Branco (SP-270) e Santos Dumont (SP-075) – foi de 1.647 animais, envolvendo animais domésticos e selvagens. O número de atropelamento de animais silvestres foi de 176 ocorrências, enquanto o de animais domésticos foi de 1.475 ocorrências. A porcentagem de animais selvagens foi relativamente baixa quando comparada com a taxa de atropelamentos de animais domésticos; entretanto, isso envolve alguns fatores. Observou-se que muitos animais domésticos sofreram atropelamentos em grupo, o que fez o número aumentar significativamente. Entre os animais domésticos, estavam os cães (*Canis lupus familiaris*) e bois (*Bos taurus*), que se encontravam em grupos de, em média, 10 indivíduos, e cabras (*Capra hircus*), com um agrupamento de em média quatro indivíduos por colisão veicular.

Por outro lado, a grande maioria das colisões veiculares envolvendo animais silvestres impactou um único indivíduo por vez. Registros de atropelamentos com maior número de animais ocorreram em espécies sociáveis, que normalmente vivem e se deslocam em grupo maiores, como a capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) e o irerê (*Dendrocygna viduata*), com registros variando de dois a 15 indivíduos. O primata não humano (*Saguinus spp*), sem identificar a espécie, animal que também possui hábitos sociáveis e que vive em grupos, teve seis registros de atropelamento, mas apenas um deles envolveu três indivíduos juntos, sendo os outros registros de atropelamento com apenas um animal. O gambá (*Didelphis spp*), apesar de ser um animal de hábitos solitários, apresentou dois registros de atropelamento em grupo, com cinco e seis indivíduos atropelados, respectivamente, havendo a possibilidade de ter sido um indivíduo adulto com filhotes. Os outros 12 registros de atropelamento de gambás foram de animais atropelados individualmente. É importante ressaltar que a espécie do macaco e do gambá não foram identificadas pois a identificação dos animais atropelados ficou sob responsabilidade da concessionária, que não conseguiu chegar ao nível de espécie, apenas no gênero (*Saguinus spp* e *Didelphis spp*).

De acordo com um estudo feito pelo Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas (CBEE) que percorreu rodovias de quase 100 parques nacionais e outras Unidades de Conservação (UCs), a maioria de animais atropelados encontrados foram mamíferos, seguido de aves e répteis, o que se assemelha aos nossos dados (CBEE, 2019). Na pesquisa, a espécie mais afetada foi o cachorro-do-mato (*Cerdocyon thous*), seguido por tamanduá-mirim (*Tamandua tetradactyla*), tatus (*Dasybus*), tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) e capivara

(*Hydrochoerus hydrochaeris*). O cachorro-do-mato (*Cerdocyon thous*) foi a única espécie morta por atropelamentos em todas as características de estradas – de alto ou baixo fluxo de veículos, pavimentada ou não pavimentada (CBEE, 2019). Entretanto, de acordo com os dados planilhados, não obteve-se nenhum registro de atropelamento de cachorro-do-mato (*Cerdocyon thous*), e, dos mamíferos mencionados acima, foram registrados 53 atropelamentos de capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*), oito atropelamentos de tatus (*Dasypus*) e apenas um registro de tamanduá-mirim (*Myrmecophaga tridactyla*), que ocorreu na rodovia Raposo Tavares (SP-270).

A rodovia Castelo Branco (SP-280) apresentou a maior proporção de acidentes, com 48,69% do total (n= 802), seguida pela rodovia Raposo Tavares (SP-270) que concentrou 42,74% dos acidentes (n= 704) e, por fim, a rodovia Santos Dumont, com 141 acidentes (8,57%). Além disso, a rodovia Castelo Branco (SP-280) destacou-se como a rodovia que mais apresentou acidentes com animais, tanto domésticos quanto silvestres. Os resultados estatísticos indicam que a rodovia Castelo Branco (SP-280) é mais suscetível a apresentar acidentes com animais – domésticos e silvestres – em comparação com a rodovia Raposo Tavares (SP-270). Isso pode ser explicado pelo fato de a Castelo Branco (SP-280) ter três faixas de rolamento em cada sentido, o que amplia a área de estrada para a travessia dos animais. Além disso, o aumento no número de faixas eleva significativamente a quantidade de veículos que trafegam pela rodovia, o que pode contribuir para o maior número de colisões veiculares envolvendo animais. Por outro lado, a rodovia Raposo Tavares (SP-270) possui majoritariamente pista simples, com obras para duplicação da rodovia ocorrendo há quase dois anos. Esses fatores podem também influenciar os dados de acidentes.

Segundo os dados, a classe de animal mais afetada foram os mamíferos (n= 1.579), seguido de aves (n= 45) e répteis (n= 23), com maiores índices nas rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075), respectivamente. Os resultados revelam que a rodovia Castelo Branco (SP-280) é estatisticamente mais suscetível a apresentar acidentes com mamíferos do que a Raposo Tavares (SP-270), o que pode estar relacionado com as informações descritas acima. De acordo com os dados planilhados, a maioria dos mamíferos atropelados eram animais domésticos, com a maioria dos registros de animais de médio e grande porte, como: boi (*Bos taurus*), cabra (*Capra hircus*), cachorro (*Canis lupus familiaris*), cavalo (*Equus ferus caballus*) e porco (*Sus scrofa domesticus*). A maioria dos mamíferos silvestres atropelados também era de médio porte, como a capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) e o veado (Cervidae). No caso da ocorrência de uma colisão veicular envolvendo fauna, o indivíduo pode ser afugentado ou devolvido ao proprietário – em se tratando de animais domésticos – caso esteja apto

a se locomover sem apresentar ferimentos graves. Alternativamente, pode ser encaminhado a uma clínica veterinária ou a uma instituição de pesquisa para receber cuidados. Em casos fatais, o corpo do animal pode ser enterrado nas áreas de domínio das concessionárias responsáveis pelas rodovias.

Há a possibilidade de que o número oficial de animais silvestres atropelados nas rodovias subestime a realidade, visto que os mamíferos registrados na planilha de dados, por terem um tamanho maior, foram mais facilmente contabilizados em comparação às aves e répteis, que normalmente são menores, e, por esse motivo, podem passar despercebidos. Além disso, animais feridos devido aos atropelamentos podem se refugiar na mata próxima ao local e vir à óbito sem serem contabilizados. Ainda, animais que possuem como hábito a alimentação de carniças, podem se alimentar das carcaças e reduzir a contagem do número de animais atropelados, assim como animais carnívoros podem carregar o corpo do animal ferido para longe do local para se alimentar (SANTOS *et al.*, 2011; DEVAULT *et al.*, 2017). No caso de mamíferos, aves e répteis de pequeno porte, a colisão veicular pode lançar o corpo do animal para longe do local de atropelamento, impossibilitando o indivíduo de ser contabilizado. Para além disso, como a maioria das buscas por carcaças de animais atropelados são feitas por veículos em movimento, o número de animais de pequeno porte, como aves e répteis, pode ser subestimado (FORD & FAHRIG, 2007). Devido a seu porte pequeno, estes animais podem também se tornar presas antes mesmo de serem identificados como vítimas de atropelamento.

O período do dia em que mais houve registro de atropelamento foi das 06:00h às 12:00h (n= 680) – período em que a rodovia Castelo Branco (SP-280) apresentou o maior número de acidentes (n= 337) – seguido de 12:00h às 18:00h (n= 448), depois das 18:00h às 23:59h (n= 298) e, por fim, das 00:00h às 06:00h, com 221 ocorrências. Os resultados apontam que o período 2 (6h às 12h) é o período mais suscetível estatisticamente a apresentar acidentes com animais, seguido do período 3 (12:00h às 18:00h), em todas as rodovias estudadas. Isso pode ser explicado pelo tráfego de veículos ser significativamente maior no período da manhã e da tarde, mais especificamente das 6:00h até às 18:00h. (ARTESP, 2025). Além disso, durante os dias de semana (segunda a sexta-feira) o tráfego de veículos é maior que os finais de semana (ARTESP, 2025). Ambos os dados podem ser justificados pelo horário de trabalho da maioria da população brasileira.

É importante observar que o horário das ocorrências dos 1.647 atropelamentos de animais foi registrado quando o animal foi encontrado e recolhido na rodovia, assim, há uma dificuldade em aferir exatamente o horário da colisão veicular. Isso se torna uma problemática pois não é possível saber com precisão o horário exato do atropelamento, o que pode resultar em dados equivocados. Com

isso, tornando difícil entender qual o período do dia em que há mais índice de atropelamentos. Com os dados analisados, é possível observar uma alta taxa de atropelamentos no período 2 (entre 6:00h e 12:00h), entretanto, não é possível confirmar de fato que os atropelamentos ocorreram durante esse período ou se as colisões veiculares aconteceram horas antes, no período 1 ou período 4. Dessa forma, investigar as possíveis medidas mitigatórias também se torna dificultoso, pois períodos diferentes do dia requerem diferentes medidas mitigatórias, que podem ser mais eficazes dependendo do horário do dia.

De acordo com os dados planilhados, 33 espécies de animais silvestres foram afetadas por atropelamento nas rodovias estudadas entre os anos de 2020 e 2022. Dentre as 33 espécies contabilizadas, elas pertencem a 20 Ordens diferentes. Entre elas, 11 possuem uma dieta onívora, seis têm uma dieta carnívora e cinco, uma dieta herbívora. Sendo assim, espécies que possuem uma alimentação onívora foram mais afetadas, como já visto em outros estudos (HILL *et al.*, 2020). Tal resultado pode ter influência pela amplitude da dieta e pela diversidade de alimentos que essas espécies consomem, assim, os animais com essa dieta podem realizar mais forrageamento a fim de buscar alimento. Ambientes de rodovia oferecem diversas oportunidades de forrageamento, visto que essas áreas fornecem diversos tipos de alimentos, como vegetação, insetos, pequenos mamíferos e carniça (HILL *et al.*, 2018; ROEVER *et al.*, 2008). O comportamento de forrageamento próximo das rodovias para os onívoros pode acarretar um maior uso dessas áreas e, consequentemente, levar a uma maior probabilidade de colisões veiculares. Visto que há uma associação positiva entre a flexibilidade dietética e a adaptabilidade dos mamíferos em áreas modificadas pelo homem, animais com uma dieta onívora podem ser mais propensos a habitar áreas onde rodovias estão presentes, o que pode contribuir para maiores taxas de colisões veiculares e mortalidades nas rodovias (BATEMAN & FLEMING, 2012).

A população do estado de São Paulo, onde estão localizadas as rodovias de estudo, cresceu exponencialmente nos últimos anos, assim como o número total de veículos no estado (IBGE, 2024). Concomitantemente a esse aumento, houve um crescimento no tráfego anual de veículos nas rodovias paulistas, ultrapassando um bilhão de veículos em circulação nas rodovias do estado em 2024 (ARTESP, 2024). Esses fatores possivelmente contribuíram para o aumento de colisões veiculares envolvendo animais, visto que a quantidade de acidentes com atropelamento de fauna aumentou exponencialmente nos últimos 25 anos nas rodovias paulistas (ARTESP, 2025). Um resultado semelhante foi observado em um estudo realizado nos Estados Unidos, no qual a proporção de mortalidade por colisões veiculares aumentou ao longo do tempo, principalmente na última década (HILL *et al.*, 2020).

O período de coleta de dados deste estudo coincidiu com a pandemia de

COVID-19, cujo início da quarentena foi decretado em março de 2020. De acordo com os dados da ARTESP, a média de tráfego de veículos nas rodovias paulistas reduziu consideravelmente em 2020, especialmente entre os meses de março e junho, voltando a aumentar a partir de julho (ARTESP, 2025). Enquanto em 2021 e 2022 o volume anual de veículos nas rodovias superou os 900 milhões, em 2020, esse número caiu para aproximadamente 780 milhões de veículos. Apesar da redução significativa do fluxo de veículos, não foi observada uma diminuição equivalente no número de acidentes envolvendo animais silvestres e domésticos ao longo do período analisado, que se manteve com uma média de 1300 acidentes envolvendo fauna por ano (ARTESP, 2025).

Segundo dados da ARTESP, a maioria significativa dos acidentes envolvendo animais nas rodovias do estado de São Paulo ocorreu com automóveis, seguido de motocicletas (ARTESP, 2024). Como observado em outros estudos (e.g. GUNSON *et al.*, 2003), colisões veiculares com animais que resultam em feridos são mais propensas a ocorrer com automóveis, devido ao seu tamanho menor e à menor estrutura para absorver a força do impacto da colisão, o que aumenta as chances de lesões. Nesse contexto, a motocicleta se torna ainda mais perigosa, já que possui um tamanho ainda mais reduzido e uma estrutura mais frágil. É importante ressaltar que tanto veículos de passeio quanto motocicletas são veículos motorizados com a capacidade de atingir altas velocidades em um curto espaço de tempo. Esse fato, aliado a uma baixa fiscalização de velocidade, como radares, eleva o risco de acidentes com animais.

O aumento dos acidentes envolvendo fauna pode afetar populações de espécies, visto que indivíduos atropelados e mortos por colisões veiculares geralmente estão em melhor condição corporal do que aqueles mortos por predação (GUNSON *et al.*, 2003). Visto que a condição corporal está frequentemente associada à fecundidade, a mortalidade por colisões veiculares pode alterar a dinâmica populacional ao remover indivíduos com um maior potencial reprodutivo (SOLBERG *et al.*, 2002). Como o estado de São Paulo possui uma das redes viárias mais densas do Brasil, e os níveis de fragmentação de *habitat* são os mais altos do país, a dinâmica populacional dos animais silvestres pode ser ainda mais impactada caso os acidentes envolvendo a fauna silvestre continuem a aumentar, como foi visto nos últimos anos (METZGER & RODRIGUES, 2008).

Das 33 espécies de fauna silvestre vítimas de atropelamento nas rodovias estudadas, 15 possuem hábitos predominantemente noturnos, e 18 espécies são diurnas. Essa distribuição, que se mostra relativamente equilibrada, pode indicar que o risco de atropelamento se mantém ao longo de todo o ciclo diário, reforçando a importância de medidas mitigatórias que abrangem diferentes espécies, considerando tanto os padrões comportamentais da fauna como a dinâmica do

tráfego rodoviário.

Espécies de hábito noturno, que constaram nos dados planilhados, como tamanduá-mirim (*Tamandua tetradactyla*), onça-pintada (*Panthera onca*), jararaca (*Bothrops jararaca*), jibóia (*Boa constrictor*), gambá (*Didelphis spp*), tatu (*Dasypus sp.*), ouriço-cacheiro (*Coendou villosus*) e raposa-do-campo (*Lycalopex vetulus*), podem ser mais vulneráveis durante períodos de baixa visibilidade e pouca luminosidade, situações em que a percepção dos motoristas é dificultada. Em contrapartida, animais diurnos como capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), tucano (*Ramphastos spp*), primatas (*Saguinus spp*), quati-de-cauda-anelada (*Nasua nasua*), pica-pau (Picidae) e jacuguaçu (*Penelope obscura*), podem ser afetados pelo maior volume de tráfego durante o dia, especialmente em horários de pico, das 05:00h às 09:00h (ARTESP, 2025). Além disso, é reconhecido que muitas espécies de animais silvestres apresentam padrões de atividade crepuscular, ou seja, com maior atividade durante o amanhecer e o entardecer. Esses períodos coincidem com os horários de pico nas rodovias – geralmente entre 5h e 9h e entre 16h e 19h –, o que aumenta significativamente o risco de colisões veiculares envolvendo animais, devido à sobreposição entre a atividade animal e a intensificação do fluxo de veículos (ARTESP, 2025).

De acordo com o mapa de calor desenvolvido a partir dos dados planilhados, foi possível observar as áreas com maior índice de atropelamento de animais silvestres e domésticos nas rodovias estudadas. A análise espacial dos registros demonstrou uma maior concentração de atropelamentos nas proximidades de áreas urbanizadas, próximas dos municípios de Sorocaba, Barueri e Osasco, cidades com grande fluxo veicular diário. Essa associação de atropelamentos de animais em zonas periurbanas pode estar relacionada à fragmentação do *habitat*, pressão antrópica e maior movimentação da fauna entre fragmentos residuais de vegetação (ZELLMER *et al.*, 2022). A transição entre áreas naturais e o ambiente urbano tende a mostrar-se como uma “zona de conflito”, em que animais silvestres, buscando por alimento ou abrigo, deparam-se com barreiras antrópicas, tais como as rodovias (BENNETT, 1991; FORMAN *et al.*, 1998). Uma vez que o processo antrópico ocorre de forma crescente nas áreas naturais, tal fenômeno causa perda de *habitat* para diversos animais, fazendo com que a frequência de animais silvestres aumente em áreas urbanizadas, intensificando o conflito humano-fauna (ZELLMER *et al.*, 2022; PRAILL *et al.*, 2023; CORK *et al.*, 2024).

De acordo com o mapa de calor desenvolvido neste estudo, uma área que mostrou um alto índice de atropelamento foi uma região próxima do município de Barueri, na rodovia Castelo Branco (SP-280). Nessa região, foi possível observar uma estrutura que pode potencialmente contribuir para o agravamento de atropelamento de fauna: uma cerca metálica instalada no canteiro central da via,

cuja função primária é prevenir colisões frontais entre veículos. A estrutura, a princípio pensada para a segurança de humanos nas rodovias, pode funcionar como uma armadilha para animais que adentrem a pista. Indivíduos que conseguem acessar a pista da rodovia e atravessam até o canteiro central, se deparam com a cerca, que os impossibilita de completar a travessia até o outro lado da rodovia. Assim, são forçados a retornarem pelo mesmo trajeto percorrido, o que aumenta sua desorientação e permanência na área de tráfego, e, consequentemente, sua exposição ao fluxo de veículos na rodovia. Portanto, embora planejada como uma medida de segurança viária, essa estrutura pode potencialmente elevar o risco de atropelamento de animais silvestres e domésticos, ao dificultar a travessia e promover a desorientação de animais.

A partir da análise de imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Maps, complementadas por observações no Google Street View, foi possível observar que áreas com maior índice de atropelamento possuem rodovias sem estruturas físicas que impeçam o acesso de animais nas rodovias, como as cercas de contenção. Um exemplo é a rodovia Celso Charuri (SP-91/270), via que conecta as rodovias Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075). Essa via possui uma cobertura vegetal significativa em ambos os lados da rodovia, o que pode significar a existência de *habitats* favoráveis para a fauna local. A presença de uma área de maior extensão e contínua de vegetação pode favorecer a circulação de animais nas imediações das rodovias, aumentando a probabilidade destes indivíduos de se aproximarem das rodovias e realizarem tentativas de travessia, e consequentemente, aumentando também o risco de atropelamentos (PRAILL *et al.*, 2023; CORK *et al.*, 2024).

Considerando as observações realizadas a partir do mapa de calor gerado neste estudo, mostra-se necessário recomendar algumas medidas mitigatórias, como a instalação de passagens de fauna aéreas ou superiores. Para o planejamento eficaz dessas medidas mitigatórias, é importante avaliar o contexto paisagístico das rodovias analisadas, como a presença de dossel arbóreo próximo das estradas. Nessas áreas, recomenda-se a instalação de passagens superiores de fauna, que visa a conectividade de *habitat* para espécies arborícolas, como os primatas (ABRA, 2012). Tais passagens de fauna também podem ser estruturadas como viadutos de fauna vegetados, visando a passagem de mamíferos que se deslocam por terra (BECKMANN *et al.*, 2010). Destaca-se que o primeiro viaduto vegetado para passagem de fauna do Brasil foi inaugurado em 2021, na rodovia Tamoios, no município de Paraibuna (SP), sendo o primeiro viaduto para passagem de fauna do Brasil. Outra estrutura possível é a passagem de fauna subterrânea, como as galerias, visando a passagem de animais que se deslocam tanto por ambientes aquáticos como semiaquáticos (BECKMANN *et al.*, 2010). Além disso, é

possível instalar muretas laterais na mesma estrutura, a fim de que animais que não se deslocam por água possam se beneficiar da mesma passagem de fauna (CLEVENGER *et al.*, 2001). Essas passagens podem ser construídas a partir de dispositivos projetados especificamente para essa função, mas também é possível adaptar e utilizar elementos pré-existentes, como bueiros ou transposições de talvegue – obras que têm como finalidade conduzir o fluxo de água de uma bacia hidrográfica através da rodovia, sem comprometer a integridade da via (ABRA, 2012).

Juntamente com a construção das passagens de fauna, é necessário estruturar na área um cercamento direcionador contínuo, que funcionará como uma barreira física, evitando que animais tenham acesso à rodovia, e também como um condutor, direcionando os indivíduos até as passagens de fauna, realizando assim uma travessia segura. Na ausência das cercas condutoras, o sucesso das passagens é baixíssimo (IUELL, 2003; TROCMÉ, 2006). É importante observar que este cercamento de contenção deve ser projetado com materiais que não aprisionem os animais caso ocorra o acesso à rodovia. Além disso, se faz necessário modificar ou reavaliar barreiras físicas existentes, como a cerca metálica instalada no canteiro central da rodovia Castelo Branco (SP-280), na área próxima do município de Barueri. Tal instalação pode ser adaptada ou substituída por uma estrutura que permita rotas de escape em caso de entrada de animais na rodovia.

Em conjunto com a instalação de passagens de fauna adequadas para cada rodovia – considerando as características ambientais e a fauna presente nas áreas mais afetadas –, pode-se incluir a instalação de sensores e armadilhas fotográficas (*cameras trap*) dentro dessas estruturas. Essa medida funciona como uma ferramenta de monitoramento de baixo custo para avaliar o sucesso das passagens de fauna como medida mitigatória. As armadilhas fotográficas têm como objetivo monitorar o uso das passagens e as espécies que se beneficiam delas, contribuindo para o avanço das pesquisas na área de Ecologia de Rodovias e fornecer dados mais robustos referentes à eficácia dessas medidas mitigatórias (TOBLER *et al.*, 2008). As armadilhas fotográficas são ferramentas valiosas, capazes de fornecer informações detalhadas a partir de seus registros (O'CONNELL, *et al.*, 2011). É possível identificar padrões de atividade e comportamento, como os horários de maior atividade de travessia, a ocorrência de deslocamentos em grupos, se há a presença de filhotes, a riqueza e densidade de espécies e, inclusive, a detecção de espécies ameaçadas de extinção (BRIDGES *et al.*, 2004; TOBLER *et al.*, 2008; ROWCLIFFE *et al.*, 2014). Essas informações ampliam significativamente o conhecimento sobre dinâmica de uso das passagens de fauna e fortalecem o embasamento científico para a conservação da biodiversidade em áreas impactadas por rodovias.

Como medida mitigatória complementar às passagens de fauna, a implementação de sinalização viária ao longo das rodovias com a finalidade de alertar motoristas sobre áreas de maior risco de colisões com animais torna-se uma estratégia útil para chamar a atenção de condutores ao realizarem seus deslocamentos. Tais sinalizações podem ser estrategicamente inseridas em trechos próximos a áreas com maior vegetação e de maior ocorrência de atropelamento de fauna – informação que é possível acessar através do mapa de calor. Além disso, a realização de campanhas de educação ambiental pelas concessionárias das rodovias pode ser efetiva como medida mitigatória. Realizar palestras e atividades que informem motoristas sobre as principais espécies daquela região onde as rodovias estão inseridas, dando acesso ao conhecimento sobre espécies ameaçadas de extinção e o impacto do atropelamento de fauna na biodiversidade pode influenciar positivamente a percepção dos condutores em relação a fauna silvestre.

Por fim, destaca-se a importância da fiscalização de velocidade nas rodovias, uma vez que a alta velocidade dos veículos compromete a capacidade dos condutores de avistar os animais com antecedência nas faixas de rolamento. A instalação de radares de velocidade em trechos com elevado índice de atropelamentos pode contribuir significativamente para reduzir esses eventos, inclusive quando os dispositivos não estão em funcionamento ativo. Estudos de caso, como o observado no município de Aquidauana (MS), indicam que somente a presença de radares fixos ao longo da rodovia tem se mostrado eficaz na redução da velocidade dos veículos, possivelmente em função da preocupação dos motoristas com eventuais infrações e penalidades. Com isso, observou-se uma diminuição nos registros de atropelamento de fauna nesse trecho (FRANÇOZO, 2024, com. pes).

7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados, observou-se que a rodovia Castelo Branco (SP-280) apresenta maior suscetibilidade a acidentes com animais silvestres e domésticos, em comparação com as rodovias Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075). Isso reforça a necessidade de reavaliar os atuais mecanismos de fiscalização adotados na rodovia e ampliar o monitoramento, sobretudo com câmeras de vigilância e profissionais especializados nas áreas com maior índice de atropelamento animal.

Verificou-se que o período entre 06:00h e 12:00h concentra o maior número de colisões envolvendo animais domésticos e silvestres, tornando essencial o reforço das estratégias de vigilância nesse intervalo. Além disso, animais onívoros foram os mais afetados, o que sugere a adoção de técnicas de manejo que reduzam a disponibilidade de alimento nas margens das rodovias, como o manejo de *habitat* e a remoção de carcaças de animais mortos.

A análise espacial por meio do mapa de calor revelou maior incidência de atropelamentos nas regiões periurbanas de Sorocaba, Barueri e Osasco. Nessas áreas, torna-se urgente o planejamento de passagens de fauna, subterrâneas e aéreas – principalmente em áreas com dossel arbóreo e presença de espécies arborícolas. Também se destaca a importância de parcerias com as concessionárias a fim de identificar estruturas de drenagem que possam ser adaptadas para a implantação de passagens de fauna subterrâneas.

Além disso, recomenda-se também reavaliar as cercas instaladas no canteiro central da rodovia Castelo Branco (SP-280), que podem aprisionar animais nas faixas de rolamento. A instalação de armadilhas fotográficas nas passagens de fauna é indicada como ferramenta de baixo custo para monitorar a eficácia das estruturas, permitindo o registro de padrões de uso, espécies beneficiadas e até presença de espécies ameaçadas.

Apesar das limitações quanto à abrangência e ao período dos dados, o presente trabalho representa uma contribuição inédita ao demonstrar os índices de colisões veiculares envolvendo fauna nas rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270) e Santos Dumont (SP-075). Recomenda-se a realização de estudos futuros que contemplem toda a extensão das rodovias, possibilitando a obtenção de uma gama maior de dados para investigações mais detalhadas.

A análise estatística e espacial deste estudo oferece subsídios relevantes para a formulação de políticas públicas, reforçando a importância de uma

abordagem integrada e interdisciplinar. A articulação entre ecologia, engenharia e gestão ambiental é essencial para a conservação da biodiversidade, especialmente em ambientes rodoviários, onde o impacto antrópico representa um risco direto para a fauna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abra, F. D. (2012). Monitoramento e avaliação das passagens inferiores de fauna presentes na rodovia SP-225 no município de Brotas, São Paulo (Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo), 72p.

Abra, F. D., Huijser, M. P., Pereira, C. S., & Ferraz, K. M. (2018). How reliable are your data? Verifying species identification of road-killed mammals recorded by road maintenance personnel in São Paulo State, Brazil. **Biological Conservation**, 225, 42-52.

Abra, F. D. (2019). Mammal-vehicle collisions on toll roads in São Paulo State: implications for wildlife, human safety and costs for society. (Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba/SP), 256p.

Abra, F. D., Granziera, B. M., Huijser, M. P., Ferraz, K. M. P. M. D. B., Haddad, C. M., & Paolino, R. M. (2019). Pay or prevent? Human safety, costs to society and legal perspectives on animal-vehicle collisions in São Paulo state, Brazil. **Plos One**, 14(4), e0215152.

Abra, F. D., Huijser, M. P., Magioli, M., Bovo, A. A. A., & de Barros, K. M. P. M. (2021). An estimate of wild mammal roadkill in São Paulo state, Brazil. **Heliyon**, 7(1), e06015.

Ament, R., Clevenger, A. P., Yu, O., & Hardy, A. (2008). An assessment of road impacts on wildlife populations in US National Parks. **Environmental Management**, 42, 480-496.

Andrews, K. M., Langen, T. A., & Struijk, R. P. (2015). Reptiles: overlooked but often at risk from roads. **Handbook of road ecology**, 271-280.

Ascensão, F., & Mira, A. (2007). Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. **Ecological Research**, 22, 57-66.

Ascensão, F., Mata, C., Malo, J. E., Ruiz-Capillas, P., Silva, C., Silva, A. P., Santos-Reis, M., & Fernandes, C. (2016). Disentangle the causes of the road barrier effect in small mammals through genetic patterns. **PLoS One**, 11(3), e0151500.

Ascensão, F., Yogui, D. R., Alves, M. H., Alves, A. C., Abra, F., & Desbiez, A. L. (2021). Preventing wildlife roadkill can offset mitigation investments in short-medium term. **Biological Conservation**, 253, 108902.

- Ashley, P. E., Kosloski, A., & Petrie, S. A. (2007). Incidence of intentional vehicle–reptile collisions. **Human Dimensions of Wildlife**, 12(3), 137-143.
- Bager, A., & Fontoura, V. (2013). Evaluation of the effectiveness of a wildlife roadkill mitigation system in wetland habitat. **Ecological Engineering**, 53, 31-38.
- Barthelmess, E. L., & Brooks, M. S. (2010). The influence of body-size and diet on road-kill trends in mammals. **Biodiversity and Conservation**, 19, 1611-1629.
- Bateman, P. W., & Fleming, P. A. (2012). Big city life: carnivores in urban environments. **Journal of zoology**, 287(1), 1-23.
- Beckmann, J. P., A. P. Clevenger, M. P. Huijser, and J. A. Hilty (eds.). 2010. Safe Passages: Highways, Wildlife, and Habitat Connectivity. **Island Press**, Washington, D.C., 383p.
- Beckmann, J. P., & Hilty, J. A. (2010). Connecting wildlife populations in fractured landscapes. **Safe passages: Highways, wildlife, and habitat connectivity**, cap. 1, p. 3-16.
- Beckmann, C., & Shine, R. (2012). Do drivers intentionally target wildlife on roads? **Austral Ecology**, 37(5), 629-632.
- Bennett, A. F. (1991). Roads, roadsides and wildlife conservation: A review. **Nature conservation 2: The role of corridors**, p. 99-117.
- Bond, A. R., & Jones, D. N. (2008). Temporal trends in use of fauna-friendly underpasses and overpasses. **Wildlife Research**, 35(2), 103-112.
- Braz, V. D. S., & Franca, F. G. R. (2016). Wild vertebrate roadkill in the Chapada dos Veadeiros National Park, Central Brazil. **Biota Neotropica**, 16(1), p. 11, e0182.
- Bridges, A. S., Vaughan, M. R., & Klenzendorf, S. (2004). Seasonal variation in American black bear *Ursus americanus* activity patterns: quantification via remote photography. **Wildlife Biology**, 10(4), 277-284.
- Bruinderink, G. G., & Hazebroek, E. (1996). Ungulate traffic collisions in Europe. **Conservation Biology**, 10(4), 1059-1067.
- CBEE, 2019. Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas. Disponível em: <http://cbee.ufra.br/portal/atropelometro/>. (Acessado em 3 de junho de 2024)
- Ceia-Hasse, A., Borda-de-Água, L., Grilo, C., & Pereira, H. M. (2017). Global exposure of carnivores to roads. **Global Ecology and Biogeography**, 26(5), 592-600.

Clevenger, A. P., Chruszcz, B., & Gunson, K. (2001). Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. **Journal of Applied Ecology**, 38(6), 1340-1349.

Clevenger, A. P., Chruszcz, B., & Gunson, K. E. (2003). Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. **Biological Conservation**, 109(1), 15-26.

Cook, T. C., & Blumstein, D. T. (2013). The omnivore's dilemma: Diet explains variation in vulnerability to vehicle collision mortality. **Biological Conservation**, 167, 310-315.

Cork, N. A., Fisher, R. S., Strong, N., Ferranti, E. J., & Quinn, A. D. (2024). A systematic review of factors influencing habitat connectivity and biodiversity along road and rail routes in temperate zones. **Frontiers in Environmental Science**, 12, 1369072.

Corlatti, L., Hackländer, K., & Frey-Roos, F. (2009). Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation. **Conservation Biology**, 23(3), 548-556.

Da Silva Zanzini, A. C., Machado, F. S., de Oliveira, J. E., & de Oliveira, E. C. M. (2018). Roadkills of medium and large-sized mammals on highway BR-242, Midwest Brazil: a proposal of new indexes for evaluating animal roadkill rates. **Oecologia Australis**, 22(3), 248-257.

Dean, W. (1997). *With broadax and firebrand: the destruction of the Brazilian Atlantic Forest*. **University of California Press**, 477p.

De Freitas, C. H., Justino, C. S., & Setz, E. Z. (2015). Road-kills of the giant anteater in south-eastern Brazil: 10 years monitoring spatial and temporal determinants. **Wildlife Research**, 41(8), 673-680.

Del Hoyo, J. (1994). Family Cracidae. In: del Hoyo *et al.* Handbook of the Birds of the World. Vol 2: New World Vultures to Guinea-fowl, **Lynx Edicions**, 310-363.

DeVault, T. L., Seamans, T. W., Linnell, K. E., Sparks, D. W., & Beasley, J. C. (2017). Scavenger removal of bird carcasses at simulated wind turbines: Does carcass type matter? **Ecosphere**, 8(11), e01994.

DER, 2025. Departamento de Estrada e Rodagem do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://www.der.sp.gov.br/WebSite/Index.aspx> (Acesso no dia 8 de fevereiro de 2025).

Desbiez, A. L. J., Bertassoni, A., & Traylor-Holzer, K. (2020). Population viability analysis as a tool for giant anteater conservation. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 18(2), 124-131.

DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo. Disponível em: <https://www.detransp.gov.br/>. (Acesso dia 14 de Janeiro de 2025).

Dulac, J. (2013). Global land transport infrastructure requirements. **Paris: International Energy Agency**, 20, 2014.

Erickson, W. P., Johnson, G. D., & Young Jr, D. P. (2005). A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. **USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-191**, 1029-1042.

Fahrig, L., Pedlar, J. H., Pope, S. E., Taylor, P. D., & Wegner, J. F. (1995). Effect of road traffic on amphibian density. **Biological conservation**, 73(3), 177-182.

Ferraz, K. M., Beisegel, B. M., de Paula, R. C., Sana, D. A., de Campos, C. B., de Oliveira, T. G., & Desbiez, A. L. (2012). How species distribution models can improve cat conservation: Jaguars in Brazil. **Forest**, 20, 38-42.

FFWCC (2012). Florida Fish and Wildlife Conservation Commission. Florida black bear management plan. Florida Fish and Wildlife Conservation. <https://myfwc.com/media/13666/bear-management-plan.pdf>

Ford, A. T., & Fahrig, L. (2007). Diet and body size of North American mammal road mortalities. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 12(7), 498-505.

Forman, R. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 29(1), 207-231.

Frair, J. L., Merrill, E. H., Beyer, H. L., & Morales, J. M. (2008). Thresholds in landscape connectivity and mortality risks in response to growing road networks. **Journal of Applied Ecology**, 45(5), 1504-1513.

Freitas, S.R., de Oliveira, A.N., Ciocheti, G., Vieira, M.V., da Silva Matos, D.M., 2015. How landscape patterns influence road-kill of three species of mammals in the Brazilian Savanna. **Oecologia Australis**, 18 (1), 1-11.

Fundação Florestal – Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, 2025. Disponível em: <https://fflorestal.sp.gov.br/> (Acesso no dia 08 de fevereiro de 2025).

Galetti, M., Eizirik, E., Beisiegel, B., Ferraz, K., Cavalcanti, S., Srbek-Araujo, A. C., Crawshaw P., Paviolo A., Galetti P. M. J., Jorge M. L., Marinho-Filho J., Vercillo U., & Morato, R. (2013). Atlantic rainforest's jaguars in decline. **Science**, 342(6161), 930-930.

Gibbs, H. K., Ruesch, A. S., Achard, F., Clayton, M. K., Holmgren, P., Ramankutty, N., Foley, J. A. (2010). Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 107(38), 16732-16737.

Grilo, C., Borda-de-Água, L., Beja, P., Goolsby, E., Soanes, K., le Roux, A., Koroleva, E., Ferreira, F. Z., Gagné, S. A., Wang, Y., González-Suárez, M. (2021). Conservation threats from roadkill in the global road network. **Global Ecology and Biogeography**, 30(11), 2200-2210.

Gunson, K. E., Chruszcz, B., & Clevenger, A. P. (2003). Large animal-vehicle collisions in the Central Canadian Rocky Mountains: patterns and characteristics. **International Conference on Ecology and Transportation**, 355-366.

Harris, S., Cresswell, W., Reason, P., Cresswell, P. (1992). An integrated approach to monitoring badger (*Meles meles*) population changes in Britain. **Wildlife 2001: Populations**, 945-953.

Harris, S., Morris, P., Wray, S., Yalden, D. (1995). A review of British mammals: population estimates and conservation status of British mammals other than cetaceans. **Peterborough: Joint Nature Conservation Committee**, 1-216.

Hill, J. E., DeVault, T. L., Beasley, J. C., Rhodes Jr, O. E., & Belant, J. L. (2018). Roads do not increase carrion use by a vertebrate scavenging community. **Scientific reports**, 8(1), 16331.

Hill, J. E., DeVault, T. L., Belant, J. L. (2020). Research note: A 50-year increase in vehicle mortality of North American mammals. **Landscape and Urban Planning**, 197, 103746.

Huijser, M. P., Duffield, J. W., Clevenger, A. P., Ament, R. J., McGowen, P. T. (2009). Cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with large ungulates in the United States and Canada: A decision support tool. **Ecology and Society**, 14(2), p. 1-26.

IBGE, 2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>. Acesso em: 11 de janeiro de 2025.

ICMBio, 2024. Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade – SALVE. Disponível em: <https://salve.icmbio.gov.br/>. Acesso em: 28 de out. de 2024.

INMET, 2019. Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas do Brasil, período 1981-2010. <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso em: 13 Janeiro de 2025. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r1=clima/normaisclimatologicas>.

IUELL, B; BEKKER, G. J.; CUPERUS, R.; DUFEK, J.; FRY, G.; HICKS, C.; HILAVÁC, V.; KELLER, V.; ROSELL, B.; SANGWINE, T.; TORSLOV, N.; WANDALL, B. I. M., 2003. Wildlife and Traffic: a European handbook for identifying conflicts and designing solutions. **KNNV Publishers**, Brussels, Belgium.

Janecka, J. E., Tewes, M. E., Laack, L. L., Caso, A., Grassman, Jr, L. I., Haines, A. M., Shindle D. B., Davis B. W., Murphy W. J., Honeycutt, R. L. (2011). Reduced genetic diversity and isolation of remnant ocelot populations occupying a severely fragmented landscape in southern Texas. **Animal Conservation**, 14(6), 608-619.

Janecka, J. E., Tewes, M. E., Laack, L., Caso, A., Grassman, L. I., Honeycutt, R. L. (2014). Loss of genetic diversity among ocelots in the United States during the 20th century linked to human induced population reductions. **PloS One**, 9(2), e89384.

Langley, W. M., Lipps, H. W., & Theis, J. F. (1989). Responses of Kansas motorists to snake models on a rural highway. **Transactions of the Kansas Academy of Science** (1903), 43-48.

Laurance, W. F., Clements, G. R., Sloan, S., O'connell, C. S., Mueller, N. D., Goosem, M., Venter, O., Edwards, D. P., Phalan, B., Balmford, A., Van Der Ree, R., Arrea, I. B. (2014). A global strategy for road building. **Nature**, 513(7517), 229-232.

Lemos, F. G.; Saranholi, H. B.; Azevedo, F. C.; Abra, F. D.; Guilherme, M. B. F.; Silva, R. C.; Ribeiro, R. L. A.; Paula, R.C. 2023. *Chrysocyon brachyurus* (Illiger, 1815). Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade - SALVE. Disponível em: <https://salve.icmbio.gov.br> DOI: [10.37002/salve.ficha.13997.2](https://doi.org/10.37002/salve.ficha.13997.2) - Acesso em: 26 de Fevereiro de 2025.

Lester, D. (2015). Effective wildlife roadkill mitigation. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, 3(1), 42-51.

Lucas, P. S., Ceia-Hasse, A., Bager, A. (2018). Ecologia de rodovias: Perspectivas em macro-escalas espaciais, **Infraestrutura Viária & Biodiversidade: Métodos e Diagnósticos**,1, 105-112.

Massara, R. L., Paschoal, A. M. D. O., Doherty Jr, P. F., Hirsch, A., & Chiarello, A. G. (2015). Ocelot population status in protected Brazilian Atlantic Forest. **PloS One**, 10(11), e0141333.

Massara, R. L., de Oliveira Paschoal, A. M., Bailey, L. L., Doherty Jr, P. F., de Frias Barreto, M., & Chiarello, A. G. (2018). Effect of humans and pumas on the temporal activity of ocelots in protected areas of Atlantic Forest. **Mammalian Biology**, 92, 86-93.

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.

Medici, E.P.; Keuroghlian, A.; Antunes, A.; Gatti, A.; Beisiegel, B.; Campos, C.B.; Pinho, G.M.; Costa, H.C.M.; Cordeiro, J.L.P.; Flesher, K.M.; Jorge, M.L.S.P.; Landis, M.; Cozzuol, M.A.; Galiez, M.; Galetti, M. 2023. *Tapirus terrestris* (Linnaeus, 1758). Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade - SALVE. Disponível em: <https://salve.icmbio.gov.br> - Acesso em: 30 de out. de 2024.

Metzger, J. P., Rodrigues, R. R. (2008). Mapas-sínteses de diretrizes para a conservação e restauração da biodiversidade no estado de São Paulo. 1 ed. **São Paulo: Governo do Estado de São Paulo**, 1, 130-136.

Miotto, R. A., Cervini, M., Figueiredo, M. G., Begotti, R. A., & Galetti, P. M. (2011). Genetic diversity and population structure of pumas (*Puma concolor*) in southeastern Brazil: implications for conservation in a human-dominated landscape. **Conservation Genetics**, 12(6), 1447-1455.

Mittermeier, R. A., Turner, W. R., Larsen, F. W., Brooks, T. M., & Gascon, C. (2011). Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. **Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas, Springer**. p. 3-22.

Møller, A. P., Erritzøe, H., & Erritzøe, J. (2011). A behavioral ecology approach to traffic accidents: interspecific variation in causes of traffic casualties among birds. **Zoological Research**, 32(2), 115-127.

Morato, R., Beisiegel, B., Ramalho, E. E., Campos, C., & Boulhosa, R. L. P. (2013). Avaliação do risco de extinção da onça-pintada *Panthera onca* (Linnaeus, 1758) no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, 3(1), 122-132.

Noonan, M. J., Ascensão, F., Yogui, D. R., & Desbiez, A. L. (2022). Roads as ecological traps for giant anteaters. **Animal Conservation**, 25(2), 182-194.

O'Connell, A. F., Nichols, J. D., & Karanth, K. U. (2011). Camera traps in animal ecology: methods and analyses (Vol. 271). **New York: Springer**, v.1, 271p.

Paviolo, A., De Angelo, C., Ferraz, K. M., Morato, R. G., Martinez Pardo, J., Srбек-Araujo, A. C., Beisiegel B. M, Lima F., Sana D., da Silva M. X., Velásquez M. C., Cullen L., Crawshaw P., Jorge, M. L. S. P., Galetti P. M., Di Bitetti M. S., de Paula R. C., Eizirik E., Aide T. M., Cruz P., Perilli M. L. L., Souza A. S. M. C., Quiroga V., Nakano E., Pinto F. R., Fernández S., Costa S., Moraes E. A., & Azevedo, F. (2016). A biodiversity hotspot losing its top predator: The challenge of jaguar conservation in the Atlantic Forest of South America. **Scientific reports**, 6(1), 37147.

Perz, S. G., Cabrera, L., Carvalho, L. A., Castillo, J., Chacacanta, R., Cossio, R. E., Solano, Y. F., Hoelle, J., Perales, L. M., Puerta, I., Céspedes, D. R., Camacho, I. R., Silva, A. C. (2012). Regional integration and local change: road paving, community connectivity, and social–ecological resilience in a tri-national frontier, southwestern Amazonia. **Regional Environmental Change**, 12, 35-53.

Praill, L. C., Eppley, T. M., Shanee, S., Cunneyworth, P. M. K., Abra, F. D., Allgas, N., Al-Razi, H., Campera, M., Cheyne, S. M., Collinson, W., Donati, G., Linden, B., Manson, S., Maria, M., Morcatty, T. Q., Nekaris, K. A. I., Oklander, L. I., Nijman, V., & Svensson, M. S. (2023). Road Infrastructure and Primate Conservation: Introducing the Global Primate Roadkill Database. **Animals**, 13(10), 1692.

<https://www.rodoviaraposotavares.com.br>. Consultado em 1 de junho de 2024.

<https://www.rodoviacastelobranco.com.br>. Consultado em 1 de junho de 2024.

<https://rodovias.org/rodovia-santos-dumont-sp-075/>. Consultado em 8 de fevereiro de 2025.

Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., & Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, 142(6), p. 1141-1153.

Rodrigues, F. H. G. (2002). Biologia e conservação do lobo-guará na Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF (Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas/SP, Instituto de Biologia), 96p.

Rodrigues, M. T. (2005). Conservação dos répteis brasileiros: os desafios para um país megadiverso. **Megadiversidade**, 1(1), 87-94.

Roever, C. L., Boyce, M. S., & Stenhouse, G. B. (2008). Grizzly bears and forestry: Road vegetation and placement as an attractant to grizzly bears. **Forest Ecology and Management**, 256(6), 1253-1261.

- Rowcliffe, J. M., Kays, R., Kranstauber, B., Carbone, C., & Jansen, P. A. (2014). Quantifying levels of animal activity using camera trap data. **Methods in Ecology and Evolution**, 5(11), 1170-1179.
- Rytwinski, T., Fahrig, L. (2013). Why are some animal populations unaffected or positively affected by roads? **Oecologia**, 173, 1143-1156.
- Rytwinski, T., & Fahrig, L. (2015). The impacts of roads and traffic on terrestrial animal populations. **Handbook of Road Ecology**, 237-246.
- Sáenz-de-Santa-María, A., Tellería, J. L. (2015). Wildlife-vehicle collisions in Spain. **European Journal of Wildlife Research**, 61, 399-406.
- Santos, S. M., Carvalho, F., & Mira, A. (2011). How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring surveys. **PLoS One**, 6(9), e25383.
- Saranholi, B.H. (2018). Genética populacional de felinos e as ameaças para Puma concolor: estruturação populacional recente e atropelamentos. Tese de Doutorado. UFSCar. São Carlos - SP. p.123.
- Schwab, A. C., & Zandbergen, P. A. (2011). Vehicle-related mortality and road crossing behavior of the Florida panther. **Applied Geography**, 31(2), 859-870.
- Schwartz, A. L., Williams, H. F., Chadwick, E., Thomas, R. J., & Perkins, S. E. (2018). Roadkill scavenging behaviour in an urban environment. **Journal of Urban Ecology**, 4(1), 1–18.
- Secco, H., Ratton, P., Castro, E., Da Lucas, P. S., & Bager, A. (2014). Intentional snake road-kill: a case study using fake snakes on a Brazilian road. **Tropical Conservation Science**, 7(3), 561-571.
- Seiler, A. (2004). Trends and spatial patterns in ungulate-vehicle collisions in Sweden. **Wildlife Biology**, 10(4), 301-313.
- Silveira, L. F. (2008). Pipile jacutinga (Spix, 1825). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, **Ministério do Meio Ambiente e Fundação Biodiversitas**, Brasília, DF; Belo Horizonte, MG. v. 2, 439-440.
- Simón, M. A., Arenas, R., Báñez, J. A., Bueno, J. F., Cadenas, R., Lillo, S. (2012). Ten years conserving the Iberian lynx. **Seville: Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía: Sevilla**, 1, 1-336.

Steen, D. A., Aresco, M. J., Beilke, S. G., Compton, B. W., Condon, E. P., Dodd Jr., C. K., Forrester, J., Gibbons, J. W., Greene-McLeod, J. L., Johnson, G., Langen T. A., Oldham M. J., Oxier D. N., Saumure R. A., Shueles, F. W., Sleeman J., Smith L. L., Tucker J. K. & Gibbs, J. P. (2006). Relative vulnerability of female turtles to road mortality. **Animal Conservation**, 9(3), 269-273.

Sullivan, J. M. (2011). Trends and characteristics of animal-vehicle collisions in the United States. **Journal of Safety Research**, 42(1), 9-16.

Taylor, S. K., Buergelt, C. D., Roelke-Parker, M. E., Homer, B. L., Rotstein, D. S. (2002). Causes of mortality of free-ranging Florida panthers. **Journal of Wildlife Diseases**, 38, 107–114.

Tobler, M. W., Carrillo-Percegué, S. E., Leite Pitman, R., Mares, R., & Powell, G. (2008). An evaluation of camera traps for inventorying large- and medium-sized terrestrial rainforest mammals. **Animal Conservation**, 11(3), 169-178.

Trocme, M. (2006). Habitat Fragmentation due to Linear Transportation Infrastructure: An overview of mitigation measures in Switzerland. **Proceedings of the 6th Swiss Transport Research Conference**. Monte Verita/Ascona, Switzerland, 1-20.

Trombulak, S. C., Frissell, C. A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. **Conservation Biology**, 14(1), 18-30.

Van Der Ree, R., Smith, D. J., Grilo, C. (2015). The ecological effects of linear infrastructure and traffic: Challenges and opportunities of rapid global growth. **Handbook of Road Ecology**, Chapter 1, 1-9.

Van Der Zande, A. N., Ter Keurs, W. J., Van der Weijden, W. J. (1980). The impact of roads on the densities of four bird species in an open field habitat—evidence of a long-distance effect. **Biological Conservation**, 18(4), 299-321.

Vieira, E. M. (1996). Highway mortality of mammals in central Brazil. **Ciência e Cultura (São Paulo)**, 48(4), 270-272.

Zellmer, A. J., & Goto, B. S. (2022). Urban wildlife corridors: Building bridges for wildlife and people. **Frontiers in Sustainable Cities**, 4, 954089.

Biografia do autor

Bióloga formada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), com experiência adquirida ao longo da graduação em monitoramento, bioacústica e comportamento de cetáceos, por meio de saídas de campo realizadas na Baía de Sepetiba, localizada na zona oeste do estado do Rio de Janeiro. Autora de dois artigos científicos resultantes de pesquisas sobre os impactos antrópicos na população de boto-cinza (*Sotalia guianensis*) na região.

Participou de congressos internacionais com apresentação de trabalhos relacionados a essas pesquisas, incluindo a 18ª Reunião de Trabalho de Especialistas em Mamíferos Aquáticos da América do Sul (18ª RT) e o XII Congresso da Sociedade Latino-Americana de Especialistas em Mamíferos Aquáticos (XII SOLAMAC), ambos realizados presencialmente em 2018, em Lima, Peru. Também participou, de forma remota, da Student Conference on Conservation Science (SCCS-NY), realizada em Nova York, EUA, e da Animal Behavior Society Online Membership & Conference System, sediada em Chicago, Illinois.

Possui experiência profissional nas áreas de educação ambiental e monitoramento de biota marinha (cetáceos e quelônios), atuando como analista ambiental em atividades de embarque durante operações de dragagem e em monitoramentos em terra, tanto na cidade do Rio de Janeiro quanto em Campos dos Goytacazes (RJ). Também possui experiência em Centros de Reabilitação de Animais Silvestres, com passagens por unidades em São José dos Campos (SP) e no Rio de Janeiro (RJ).