

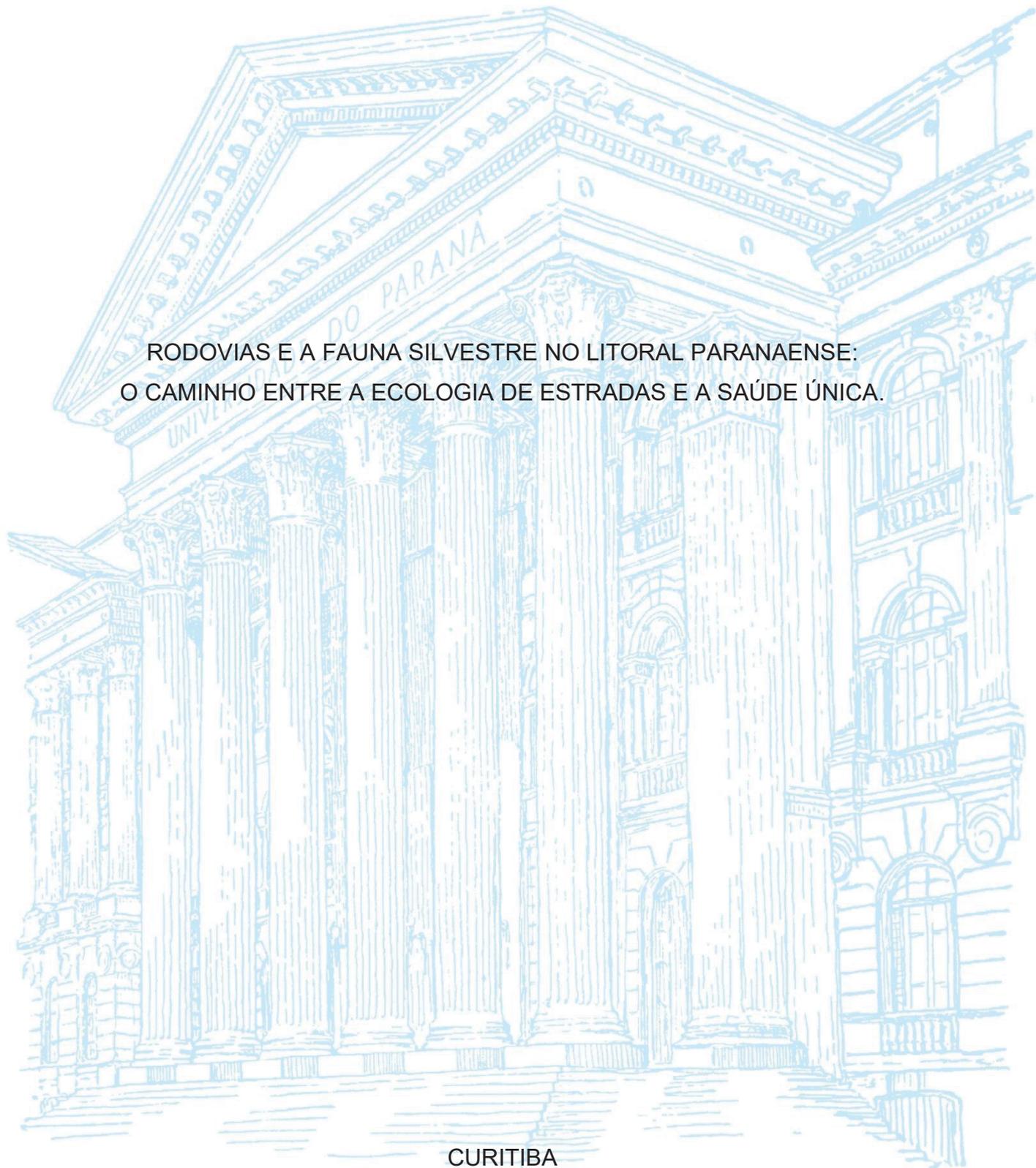
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

IZABEL CAROLINA RAITTZ CAVALLET

RODOVIAS E A FAUNA SILVESTRE NO LITORAL PARANAENSE:
O CAMINHO ENTRE A ECOLOGIA DE ESTRADAS E A SAÚDE ÚNICA.

CURITIBA

2022



IZABEL CAROLINA RAITTZ CAVALLET

RODOVIAS E FAUNA SILVESTRE NO LITORAL PARANAENSE:
O CAMINHO ENTRE A ECOLOGIA DE ESTRADAS E A SAÚDE ÚNICA.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Área de Concentração em Ciências Veterinárias, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Veterinárias.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Ribas Lange

Coorientadora: Dra. Luisa Maria Diele-Viegas

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Cavallet, Izabel Carolina Raittz

Rodovias e a fauna silvestre no litoral paranaense: o caminho entre a Ecologia de Estradas e a Saúde Única / Izabel Carolina Raittz Cavallet. – Curitiba, 2022.

1 recurso online: PDF.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Ribas Lange

Coorientadora: Dra. Luisa Maria Diele-Viegas

1. Animais silvestres. 2. Estradas. 3. Impacto ambiental . I. Lange, Rogério Ribas. II. Diele-Viegas, Luisa Maria. III. Universidade Federal do Paraná. Programa Pós-Graduação em Ciências Veterinárias. III. Título.

Bibliotecária: Telma Terezinha Stresser de Assis CRB-9/944



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS
VETERINÁRIAS - 40001016023P3

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação CIÊNCIAS VETERINÁRIAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **IZABEL CAROLINA RAITTZ CAVALLET** intitulada: **Rodovias e a fauna silvestre no litoral paranaense: o caminho entre a Ecologia de Estradas e a Saúde Única**, sob orientação do Prof. Dr. ROGERIO RIBAS LANGE, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 22 de Julho de 2022.

Assinatura Eletrônica
25/07/2022 15:51:22.0
ROGERIO RIBAS LANGE
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
29/07/2022 14:01:37.0
WILSON LOUREIRO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR)

Assinatura Eletrônica
25/07/2022 21:02:48.0
PAULO ROGERIO MANGINI
Avaliador Externo (INSTITUTO BRASILEIRO PARA MEDICINA DA CONSERVAÇÃO)

Assinatura Eletrônica
29/07/2022 11:20:45.0
ALEXANDER WELKER BIONDO
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
29/07/2022 14:22:26.0
AMADEU BONA FILHO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

RUA DOS FUNCIONÁRIOS, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80035050 - Tel: (41) 3350-5621 - E-mail: cpgcv@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.
Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 209080

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prrpg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 209080

Para meu filho Vinícius Cavallet Cancelli, o maior e mais importante projeto da minha vida. Com certeza a estrada mais linda que já percorri foi a da maternidade.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço ao meu pai, Valdo José Cavallet, por apostar em mim e me convencer de que sou capaz de encarar todos os desafios, me fazendo entrar nas empreitadas mais loucas. Agradeço à minha mãe, Susan Regina Raittz Cavallet, que me dá a força e o apoio emocional e logístico para que eu possa superá-las. Tudo que eu tenho de bom em mim, devo a vocês. Muito obrigada por tudo e por tanto!

Agradeço ao meu filho, Vinícius Cavallet Cancelli, pela paciência (ou pelo menos a tentativa dela) que teve com essa mãe doutoranda. Por todo dia chegar em minha mesa e perguntar “E aí mãe, tá boa a Tese?”, me fazendo enxergar a simplicidade na complexidade. Agradeço por chamar minha atenção para tudo que realmente importa e para as coisas que não importam tanto assim para os adultos, mas são muito legais, como o fato de que a água na Terra veio de meteoros. Se existe uma razão para as minhas constantes tentativas de deixar esse mundo cheio de água um lugar melhor, é por você e suas primas Lara Raittz Cavallet Ambrogi e Beatriz Cavallet Fernandes de Castro.

Agradeço ao meu marido, Samuel Storti Guerra Jacintho, por caminhar ao meu lado e estar sempre disposto a “fazer um pouco mais” para que eu pudesse “fazer um pouco menos” e cumprir essa etapa da vida. Sou eternamente grata por cuidar de nós enquanto eu precisava cuidar do mundo. Espero que um dia eu possa retribuir todo o apoio que você me deu.

Agradeço às minhas irmãs, Ana Paula Raittz Cavallet e Luiza Helena Raittz Cavallet, minha madrinha, Sandra Mara Raittz, e a toda minha família por serem meu Porto Seguro, minha matilha e minha fortaleza. Obrigada por sempre me ofertarem refúgio para incertezas, apoio para emergências, companhia para comemorações e exemplos para serem seguidos.

Agradeço aos meus amigos, cúmplices, parceiros e colegas de trabalho do Eixo Mais Legal do IFPR Paranaguá (e do resto do mundo). Obrigada pela parceria, pelas aulas assumidas, pelas ideias trocadas, pela torcida. Que time somos!

Agradeço aos meus orientadores Rogerio Ribas Lange e Luisa Maria Diele-Viegas, por aceitarem trilhar esse percurso comigo. Cada um a sua

maneira é um exemplo a ser seguido e uma referência em minha trajetória. Tenho orgulho de ter meu nome ao lado dos seus.

Agradeço à Luciane de Oxum, minha mãe de Santo, e a todos os meus irmãos de corrente pelos momentos de paz e de encontro comigo e com algo maior. Agradeço aos meus padrinhos espirituais: Seu Sete Ondas e Vó Cambinda, por sempre terem a palavra certa. Agradeço a Seu Marabô pela bronca no momento exato e por me ensinar que o tempo contato em luas faz mais muito mais sentido do que parece.

Agradeço a meu pai Ogum, Senhor das Estradas, por nunca me deixar desviar dos caminhos que devem ser trilhados: Ogunhê meu Pai!

“Primeiro foi necessário civilizar o homem em relação ao próprio homem. Agora é necessário civilizar o homem em relação a natureza e aos animais.”

Victor Hugo

RESUMO

Ao mesmo tempo em que contribuem para o funcionamento e desenvolvimento das sociedades humanas, as estradas causam impactos ambientais significativos. Entre eles estão os causados pelas colisões entre veículos e animais, que trazem prejuízos não só ambientais como também econômicos e de saúde. Esta tese tem como foco questões relativas ao atropelamento de fauna em rodovias, com ênfase para a região do Litoral Paranaense. Inicialmente realizamos uma análise dos padrões ecológicos dos eventos observados a partir de um ano de monitoramento dos atropelamentos de animais nas rodovias estaduais PR-407 e PR-508. Em um total de 43 dias de amostragem, registramos 209 animais atropelados (taxa média de atropelamentos de 0,105 e 0,111 animais/quilômetro/dia para PR-407 e PR-508 respectivamente). Extrapolando os índices encontrados, estimamos que pelo menos cerca de 1.773 animais podem vir a ser atropelados todos os anos nessas estradas. Os grupos mais afetados foram aves (33,01%) e anfíbios (30,62%), seguidos de répteis (19,13%) e mamíferos (17,33%). Durante o período encontramos dois pontos críticos de atropelamentos para a rodovia PR-407 (quilômetro 11,7 a 12,5 e quilômetro 14,7 a 16,7). Para a rodovia PR-508, encontramos um ponto crítico de 5,2 km (quilômetro 5 a 10,2). Como medida de curto prazo para reduzir a mortalidade de animais nessas rodovias, recomendamos a instalação de redutores de velocidade nos trechos identificados e a implementação de campanhas de educação ambiental com moradores e turistas, principalmente nos meses de verão. Numa segunda etapa da tese, a discussão dos padrões ecológicos se soma às discussões sociais e de saúde pública e foi feita então a proposição da interpretação dos acidentes rodoviários causados por animais na pista como um Problema Complexo de Saúde Única. Foram analisados, a partir de boletins de ocorrência da Polícia Rodoviária Federal Brasileira, os padrões espaciais, temporais, sociais e econômicos de 32.419 acidentes de trânsito que ocorreram entre os anos de 2011 e 2021. Estes acidentes envolveram 36.827 veículos e 52.902 pessoas, sendo que destas 20.059 (37, 92%) precisaram de algum tipo de atendimento médico e 1.064 (2,01%) perderam a vida. Estimamos que durante esse período as colisões entre veículos e animais custaram mais de dois bilhões de reais, com média anual de R\$214.275.768. Os cenários de análise de padrões temporais e espaciais foram: Território nacional, Território estadual do Paraná, Rodovia federal BR-277 e o trecho de 78km da BR-277 onde se encontra a Serra do Mar Paranaense. A maior parte dos acidentes ocorreu em área rural, em traçados de pista simples e reta. Houve uma maior concentração dos acidentes durante o inverno, em dias de céu aberto e no período entre 18h e 21h. Considerando o trecho da Serra do mar como o cenário mais crítico encontrado, sugerimos medidas mitigatórias que podem ser consideradas como: estratégias educativas para modificação do comportamento humano e medidas de aumento de segurança, como melhor iluminação de vias e redução de limites de velocidade.

Palavras-chave: Estradas. Fauna. Litoral do Paraná. Ecologia de Estradas. Saúde Única.

ABSTRACT

Roads cause significant environmental impacts while they still contribute to the functioning and development of human societies. Amongst the impacts are those caused by collisions between vehicles and animals, which bring not only environmental but also economic and health damages. This thesis focuses on issues related to fauna roadkill on highways, with emphasis on the coastal region of Paraná state. Initially, we carried out an analysis of the observed events' ecological patterns from a year of monitoring roadkilled animals on state highways PR-407 and PR-508. In a total of 43 days of sampling, we recorded 209 dead animals which were hit by cars (average hit rate of 0.105 and 0.111 animals/kilometer/day for PR-407 and PR-508 respectively). Extrapolating the rates found, we estimate that at least about 1,773 animals may be roadkilled each year on these roads. The most affected groups were birds (33.01%) and amphibians (30.62%), followed by reptiles (19.13%) and mammals (17.33%). The hottest months had the highest roadkill rates. During the period we found two roadkill critical hotspots for PR-407 highway (kilometer 11.7 to 12.5 and kilometer 14.7 to 16.7). For highway PR-508, we found a critical point of 5.2 km long (km 5 to 10.2). As a short-term measure to reduce animal mortality on these highways, we recommend installing speed bumps on the identified hotspots and implementing environmental education campaigns for residents and tourists, especially in the summer months. In a second stage of this thesis, a discussion of ecological patterns is added to social and public health discussions and a proposition was made for the interpretation of road accidents caused by animals on the road track as a problem of One Health. The spatial, temporal, social and economic patterns of 32,419 traffic accidents that occurred between 2011 and 2021 were analyzed from the Brazilian Federal Highway Police's police reports. These accidents involved 36,827 vehicles and 52,902 people, within these, 20,059 (37.92%) needed some type of medical care and 1,064 (2.01%) lost their lives. We estimate that during this period, collisions between vehicles and animals cost more than two billion Reais, with an annual average of R\$214,275,768. The scenarios for analyzing temporal and spatial patterns were: National Territory, State Territory of Paraná, Federal Highway BR-277 and the 78km hotspot of BR-277 where Paraná's Serra do Mar is located. Most accidents occurred in rural areas, in single and straight lanes. There was a higher concentration of accidents during the winter, on open sky days and in the period between 6:00 pm and 9:00 pm. Considering Serra do Mar's hotspot as the most critical scenario found, we suggest mitigating measures that can be considered as: educational strategies to modify human behavior and measures to increase safety, such as better lighting of roads and reduction of speed limits.

Key-words: Roads. Animals. Paraná Coast. Road Ecology. One Health.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Localização dos sete municípios do Litoral do Paraná em relação a capital Curitiba	6
FIGURA 2 – Unidades de Conservação do Litoral do Paraná	13
FIGURA 3 – Principais rodovias do Litoral do Paraná	17
FIGURA 4 – Resumo dos principais impactos socioambientais diretos e secundários das rodovias	24
FIGURA 5 – Principais medidas que podem ser aplicadas para a mitigação do atropelamento de animais	34
FIGURA 6 – Location of the PR-407 e PR-508 roads and Conservation Units in their surroundings	44
FIGURA 7 – Variation of road kill rates (carcass/km/day) of different vertebrates' classes through time and monthly composition	48
FIGURA 8 – Hotspots of roadkill small vertebrates on PR-508 and PR-407 roads.....	50
FIGURA 9 – Principais desequilíbrios causados pelas colisões veiculares com fauna na saúde humana, animal e ambiental	64
FIGURA 10 – Principais fatores socioambientais que devem ser considerados como influenciadores na ocorrência das colisões veiculares com fauna	68
FIGURA 11 – Acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais, classificados de acordo com o tipo de uso do solo (Período 2011-2021)	81
FIGURA 12 – Acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais, classificados de acordo com o tipo de pista (Período 2011-2021)	82
FIGURA 13 – Acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais, classificados de acordo com o tipo de traçado da via (Período 2011-2021)	82
FIGURA 14 – Acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais, classificados de acordo com as condições meteorológicas (Período 2011-2021)	83

FIGURA 15 – Distribuição mensal dos acidentes causado pela presença de animais na pista em rodovias federais (Período 2011-2021)	83
FIGURA 16 – Distribuição por estação do ano dos acidentes causado pela presença de animais na pista em rodovias federais (Período 2011-2021)	84
FIGURA 17 – Distribuição dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais em relação aos fins de semana e dias da semana (Período 2011-2021)	84
FIGURA 18 – Distribuição dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais ao longo dos dias da semana (Período 2011-2021)	85
FIGURA 19 – Distribuição dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais em relação aos períodos do dia (Período 2011-2021)	85
FIGURA 20 – Tipificação dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais (Período 2011-2021)	86
FIGURA 21 – Classificação quanto a gravidade dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais (Período 2011-2021)	87
FIGURA 22 – Variação temporal da gravidade dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais brasileiras (Período 2011-2021)	88
FIGURA 23 – Variação temporal da gravidade dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais no estado do Paraná (Período 2011-2021)	88
FIGURA 24 – Variação temporal da gravidade dos acidentes causados pela presença de animais na pista na rodovia federal BR-277 (Período 2011-2021)	89
FIGURA 25 – Variação temporal da gravidade dos acidentes causados pela presença de animais na pista no trecho da Serra do Mar da rodovia federal BR-277 (Período 2011-2021)	89
FIGURA 26 – Aspectos éticos e socioambientais que devem ser considerado em relação à manutenção, ampliação e abertura de estradas no Litoral do Paraná.....	102

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Índices geográficos e demográficos dos municípios do Litoral Paranaense	6
TABELA 2 – Número total de espécies e grau de endemismo do Bioma Mata Atlântica	9
TABELA 3 – Unidades de Conservação do Litoral do Paraná	12
TABELA 4 – Malha rodoviária da região do Litoral Paranaense	17
TABELA 5 – Variation in the road kill rates (carcass/km/day) between classes of vertebrates on the PR-407 and PR 508 highways	47
TABELA 6 – List of species road killed from April 2016 to March 2017 on the PR-407 and PR-508 roads	49
TABELA 7 – Comparação entre o total de acidentes de trânsito e os acidentes causados pela presença de animais nas rodovias federais entre os anos de 2011 e 2021	78
TABELA 8 – Perfis estaduais dos acidentes de trânsito causados pela presença de animais nas rodovias federais entre os anos de 2011-2021 ...	79
TABELA 9 – Aspectos gerais e socioeconômicos dos acidentes	80
TABELA 10 – Distribuição dos acidentes de trânsito causados pela presença de animais nas rodovias federais ao longo do trecho da Serra do Mar da rodovia federal BR-277 entre os anos de 2011 e 2021	90
TABELA 11 – Extrapolação das médias das rodovias federais para a extensão total da malha viária brasileira	91
TABELA 12 – Condições mais prováveis para ocorrência de acidentes rodoviários causados por animais na pista em cada um dos cenários estudados (período 2011-2021)	97

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEIT – Áreas Especiais de Interesse Turístico
AEUR – Áreas Especiais de Uso Regulamentado
APA – Área de Proteção Ambiental
APP – Área de Preservação Permanente
ARIE – Área de Relevante Interesse Ecológico
BAT – Boletim de Acidentes de Trânsito
CBEE – Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas
CEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente
CNT – Confederação Nacional de Transporte
CVF – Colisão veicular com fauna
DER – Departamento de Estradas e Rodagens
DNOS – Departamento Nacional de Obras e Saneamento
ESEC – Estação Ecológica
EUA – Estados Unidos da América
FLONA – Floresta Nacional
Ha – hectare
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Km – Quilômetros
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MN – Monumento Natural
OAC – Obras de Arte Corrente
OAE – Obras de Arte Especial
OMS – Organização Mundial da Saúde
PARNA – Parque Nacional
PE – Parque Estadual
PI – Proteção Integral
PIB – Produto Interno Bruto
PRF – Polícia Rodoviária Federal
RDS – Reserva de Desenvolvimento Sustentável
REBIO – Reserva Biológica
REFAU – Reserva de Fauna

RESEX – Reserva Extrativista

RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural

RVS – Refúgio da Vida Silvestre

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

TEPT – Transtorno de Estresse Pós-traumático

UC – Unidade de Conservação

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

US – Uso Sustentável

WCS – Wildlife Conservation Society

WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. LITORAL PARANAENSE: UM CAMINHO PARA A CONSERVAÇÃO X ESTRADAS PARA O PROGRESSO	5
2.1. O LITORAL DO PARANÁ	5
2.2. O BIOMA MATA ATLÂNTICA	8
2.3. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO LITORAL PARANAENSE	10
2.4. RODOVIAS E A EXPANSÃO DAS ATIVIDADES INDUSTRIAIS E PORTUÁRIAS NA COSTA PARANAENSE: IMPACTOS E AMEAÇAS .	14
2.4.1. O Passado: Histórico da ocupação e construção de estradas no Litoral Paranaense	14
2.4.2. O Presente: Situação atual da Malha Viária na região	16
2.4.3. O Futuro: Empreendimentos previstos para a região	18
2.5. CONSIDERAÇÕES PARCIAIS	20
3. ECOLOGIA DE ESTRADAS: UMA REVISÃO PARA VETERINÁRIOS	22
3.1. ECOLOGIA DE ESTRADAS	22
3.2. IMPACTOS DAS RODOVIAS NA BIODIVERSIDADE	25
3.2.1. Perda e Perturbação de Habitat	26
3.2.2. Corredores de Dispersão e Atração de Espécies	28
3.2.3. Efeito Barreira	29
3.2.4. Atropelamento de fauna	30
3.3. ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DO ATROPELAMENTO DE FAUNA EM RODOVIAS	32
3.4. CONSIDERAÇÕES PARCIAIS	38
4. ARTIGO 1 – SMALL VERTEBRATES’ ROADKILL ON TWO ROADS IN THE SOUTHERN REGION OF THE ATLANTIC FOREST, PARANÁ COAST – BRAZIL	40
4.1. ABSTRACT	40
4.2. RESUMO	41
4.3. INTRODUCTION	41
4.4. MATERIALS & METHODS	44
4.5. RESULTS	47
4.6. DISCUSSION	50

4.7. ACKNOWLEDGEMENTS	56
4.8. REFERENCES	56
5. AS COLISÕES VEICULARES COM FAUNA SOB O PONTO DE VISTA DA SAÚDE ÚNICA	60
5.1. O ATROPELAMENTO DE FAUNA COMO UM PROBLEMA DE SAÚDE ÚNICA	62
5.2. IMPLICAÇÕES DO ATROPELAMENTO DE FAUNA PARA A SAÚDE HUMANA	64
5.3. IMPLICAÇÕES SOCIOAMBIENTAIS DO ATROPELAMENTO DE FAUNA	66
5.4. PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM NAS OCORRÊNCIAS DAS COLISÕES VEICULARES COM FAUNA	67
5.5. CONSIDERAÇÕES PARCIAIS	69
6. ARTIGO 2 – DO NACIONAL AO REGIONAL: ASPECTOS DAS COLISÕES VEICULARES COM ANIMAIS, NAS RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS, PARANAENSES E SERRA DO MAR	71
6.1. ABSTRACT	71
6.2. RESUMO	72
6.3. INTRODUÇÃO	73
6.4. MATERIAIS E MÉTODOS	75
6.5. RESULTADOS	78
6.5.1. Aspectos socioeconômicos dos acidentes	79
6.5.2. Influências da Paisagem e Características da Pista	81
6.5.3. Influências Climáticas e Sazonais	82
6.5.4. Tipificação e Classificação dos Acidentes	86
6.5.5. Distribuição Espacial dos Acidentes Causados por Animais na Pista na Serra do Mar Paranaense	90
6.6. DISCUSSÃO	90
6.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
6.8. CONCLUSÕES	99
6.9. REFERÊNCIAS	99
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÃO E CONTINUIDADE	102
8. REFERÊNCIAS	106

1. INTRODUÇÃO GERAL

Quando e onde quer que existam seres humanos existirão estradas. Desde tempos muito antigos, quando possibilitaram a conquista de novos territórios e povoados, até o presente momento, onde as rodovias se tornaram o principal meio de escoamento de produtos e transporte de pessoas na maioria dos países do planeta. Metaforicamente falando, são muitas também as estradas percorridas ao longo de uma caminhada profissional, acadêmica e de vida.

Rodovias me encantam desde pequena, quando me levavam para a temporada de férias na casa de meus avós. Esse amor aumentou quando aprendi a dirigir e descobri a liberdade e o poder reflexivo de trafegar por elas com apenas a minha companhia, uma mochila e muitos sonhos. Foi com as estradas que aprendi a lidar com mudanças de destino, alguns buracos, paradas forçadas e muitas curvas. Foram as estradas que me apresentaram o litoral paranaense, região que me trouxe quase tudo que tenho hoje, da realização na carreira profissional à maternidade.

Nas curvas da estrada da vida fui apresentada a uma ciência chamada de “Ecologia de Estradas”, uma área de conhecimento que apesar de ser bastante recente tem apresentado um crescimento acelerado nos últimos vinte anos. Esta ciência surgiu a partir do reconhecimento dos diversos impactos que uma rodovia pode causar no ambiente que a recebe e da necessidade de avaliar a extensão e oferecer soluções para os problemas físicos, químicos, biológicos, ecológicos e sociais criados por ela.

Meu encontro com ela não foi um encontro suave. Podemos dizer que foi uma colisão, literalmente, quando na estrada para o trabalho, cerca de dois quilômetros antes de meu destino, me deparei com um macho de onça-parda (*Puma concolor*) recém atropelado e que não pode ser salvo, o que me causou profunda consternação e inquietação. Eu precisava fazer algo, precisava de respostas frente a impotência que sentia. Assim conheci esta ciência que não vem apenas com o objetivo de gerar teorias, conceitos e modelos que descrevem as interações estradas-ambiente, mas também para auxiliar no planejamento, construção, manutenção e gestão destes empreendimentos que, apesar dos impactos negativos, trazem também benefícios inegáveis para a economia, cultura e sociedade. Era exatamente esse o meu próximo destino.

Essa tese surge da união desta nova paixão chamada Ecologia de Estradas com a antiga paixão chamada Litoral Paranaense. Produto de meu processo de doutoramento, teve como principal guia a vontade pessoal de trabalhar com algo que tanto fosse diretamente aplicado, podendo de alguma forma ajudar a orientar estratégias de mitigação dos efeitos negativos das rodovias na fauna, quanto que gerasse questionamentos e possibilidades de estudos futuros para a caminhada que ainda tenho de mais vários anos na docência de uma Instituição Federal de Ensino público, gratuito e de qualidade.

Chegando na metade do percurso, me deparei com o maior obstáculo possível, a pandemia da COVID-19. Foram então necessários diversos ajustes de trajeto de ordem pessoal, acadêmica e profissional. Ao mesmo tempo em que o isolamento social inviabilizava a continuidade de um projeto tão planejado e desejado, surgia um novo horizonte apresentado por diversas discussões dentro e fora dos ambientes acadêmicos. Com a pandemia, as questões de saúde resultantes do contato homem-animal passaram a fazer parte de nossa rotina, de nossas aulas, das conversas entre família e amigos e um termo passou a me acompanhar no trajeto desta tese e fazer parte de meus estudos e leituras: a Saúde Única. Esta abordagem inovadora tem ganhado reconhecimento global por reconhecer a necessidade de levar em consideração as interconexões entre a Saúde Humana, Animal e Ambiental para a solução de problemas de saúde, que se tornam cada vez mais desafiadores conforme aumentamos a complexidade de nossa sociedade. Busca através da colaboração multidisciplinar e da análise conjunta dessas três esferas de saúde, entender e enfrentar não só as questões sanitárias, mas também suas implicações econômicas, culturais e físicas. Neste sentido, a presente tese está estruturada em cinco capítulos, os quais são descritos a seguir.

O primeiro capítulo visa caracterizar a área de estudo, a região que compreende os sete municípios da zona costeira do estado do Paraná e sua relevância ambiental, social e econômica. A existência desse capítulo parte da necessidade de sintetizar o conhecimento disponível e realizar uma descrição do cenário local para embasar uma melhor compreensão dos demais capítulos da presente tese e da fragilidade socioambiental da região frente aos empreendimentos viários já instalados e em fase de instalação. Desta forma, guiada pelas experiências adquiridas ao longo de treze anos de trabalho e vida

pessoal na região, realizei uma revisão bibliográfica onde procurei reunir e ressaltar todos os pontos importantes para o entendimento do Litoral Paranaense sob o ponto de vista da Ecologia de Estradas. Com este capítulo pode-se perceber que, frente a fragilidade socioambiental da região da costa paranaense e ao cenário de pressão industrial e portuária em que ela se encontra, é indispensável que o Litoral do Paraná passe a ser planejado e analisado de maneira a conciliar e mediar a conservação ambiental e o desenvolvimento regional.

O segundo capítulo foi então dedicado a uma revisão bibliográfica sobre a Ecologia de Estradas, enfatizando os impactos na fauna silvestre. Por muitas vezes na Medicina Veterinária, que se encontra associada as chamadas Ciências Agrárias, os conceitos e princípios ecológicos acabam por passar despercebidos ou são subestimados. Esse afastamento da Medicina Veterinária em relação às Ciências Biológicas pode ser prejudicial em termos de atuação profissional, principalmente no caso de Médicos Veterinários que atuam na Medicina Zoológica e na Saúde Única. Como um primeiro momento do doutoramento, me aprofundi no resgate dessa ligação e internalização de conceitos ecológicos e da área ambiental que considerei essenciais para compreender o real efeito das estradas em relação à fauna silvestre.

Sintetizando os conhecimentos dos dois primeiros capítulos, temos no terceiro capítulo o primeiro artigo intitulado "*Small vertebrates' roadkill on two roads in the southern region of the Atlantic Forest, Paraná Coast – Brazil*". Este artigo foi utilizado na qualificação da tese, ocorrida em janeiro do ano de 2021, e está em processo de revisão/correção para ser publicado na revista *Brazilian Journal of Biology*. Traz os resultados de doze meses de monitoramento semanal do atropelamento de fauna realizado em duas rodovias da região do litoral do Paraná, PR-407 e PR-508. A partir dos dados coletados foram gerados 1) uma lista das espécies mais atingidas pelo atropelamento; 2) os padrões temporais dos eventos; e 3) a identificação dos trechos com maior incidência de atropelamento de fauna para cada uma das rodovias estudadas.

Como produto do meu segundo momento do processo de doutoramento e partir da internalização dos conceitos ecológicos sobre a mortalidade de fauna em rodovias e do reconhecimento da fragilidade socioambiental da região juntamente com a perspectiva da Medicina Veterinária de estimular e promover

atividades para a prevenção da sanidade animal e da Saúde Pública, o objetivo do quarto capítulo foi entender os acidentes de trânsito causados pela presença de animais na pista como um problema de saúde complexo, que pode e deve ser abordado do ponto de vista da Saúde Única.

A partir da união dos conceitos de Ecologia de Estradas com os princípios de Saúde Única, temos então no quinto capítulo o segundo artigo “Do nacional ao regional: Aspectos das colisões veiculares com animais, nas rodovias federais brasileiras, paranaenses e serra do mar”, a ser submetido após a defesa. Este capítulo traz um estudo dos acidentes de trânsito causados pela presença de animais na pista ocorridos por 11 anos (2011 a 2021) na Serra do Mar Paranaense, do ponto de vista da Saúde Única e da Segurança Viária, e sua comparação com os cenários em nível nacional, estadual, focando no estado do Paraná, e local, focando na extensão total da rodovia BR-277. Foram analisadas as informações contidas nos boletins de ocorrência gerados pela Polícia Rodoviária Federal em situações de colisões veiculares com animais em rodovias federais, buscando os principais padrões temporais e espaciais dos acidentes, bem como a sugestão de medidas que tornem as estradas mais seguras para seres humanos e animais.

Por fim, são feitas conclusões, considerações finais e sugestões de estratégias de mitigações, bem como os próximos passos (ou seriam destinos?) que serão tomados na minha vida como docente e pesquisadora a partir da conclusão desta tese.

2. LITORAL PARANAENSE: UM CAMINHO PARA A CONSERVAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA X ESTRADAS PARA O PROGRESSO¹

2.1 O LITORAL DO PARANÁ

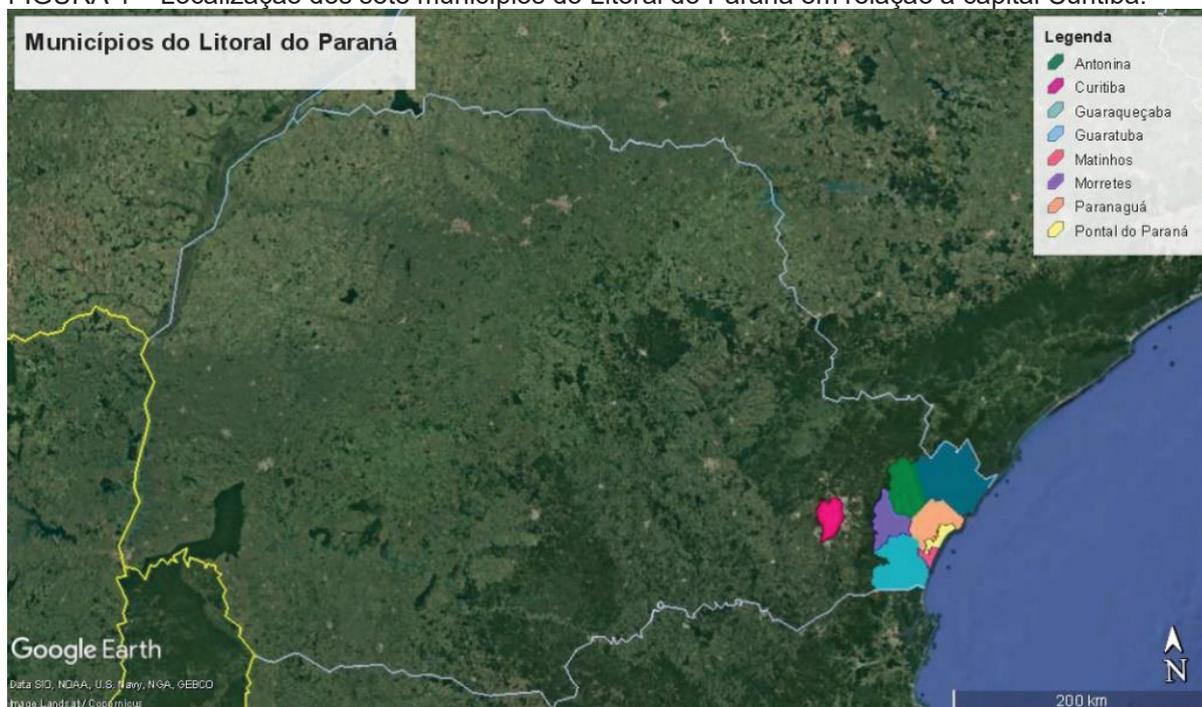
Localizado na mesorregião geográfica de Curitiba, microrregião geográfica de Paranaguá, o Litoral do Paraná é uma região com características únicas e de extrema importância sociocultural, histórica, ambiental e econômica (VIKOU; CANEPARO; PAULA, 2017). A construção desse cenário se dá desde a presença das populações que residiam no local previamente ao período colonial (cuja memória resiste nos diversos sambaquis existentes na região), passando por seu papel estratégico na ocupação pelos europeus e na construção do estado do Paraná, até a sua preocupante posição atual de mantenedor de parte do maior remanescente contínuo de um dos mais importantes biomas do planeta, a Mata Atlântica (BIGARELLA, 2009). A relevância da conservação ambiental da área devido a essencialidade dos serviços ecossistêmicos prestados pela Mata Atlântica e ecossistemas Marinhos; a identidade e diversidade cultural de seu povo, com mais de 100 atributos e práticas culturais registrados; as perspectivas e ameaças da expansão da atividade portuária e industrial; e a potencialidade da expansão das atividades sustentáveis de turismo e recreação frente a presença de inúmeros atrativos naturais, arqueológicos e históricos na região são alguns dos pontos mais comumente abordados na literatura focada na região (PAULA; PIGOSSO; WROBLEWSKI, 2008; PAULA *et al.*, 2008b; VIKOU; CANEPARO; PAULA, 2017; GÓES *et al.*, 2021). Toda essa riqueza ambiental, natural, histórica, social e cultural está abrigada em apenas 90 quilômetros de extensão, o que representa cerca de 2% de toda a costa brasileira (PAULA *et al.*, 2008b).

Sete municípios compõem o território do Litoral do Paraná: Antonina, Guaraqueçaba, Guaratuba, Matinhos, Morretes, Paranaguá e Pontal do Paraná. As principais atividades econômicas realizadas na região são atividades portuárias, pesqueiras, praiano-turísticas (principalmente de segunda

¹ Após a defesa, esse capítulo será submetido a revista Guaju – Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial Sustentável, da Universidade Federal do Paraná (<https://revistas.ufpr.br/guaju>)

residência) e de conservação da natureza (GÓES *et al.*, 2021). A FIGURA 1 e a TABELA 1 ilustram de modo mais expressivo as particularidades geográficas e socioambientais da região abordada neste estudo.

FIGURA 1 – Localização dos sete municípios do Litoral do Paraná em relação a capital Curitiba.



Fonte: Elaborado a partir do Software Google Earth.

TABELA 1 – Índices geográficos e demográficos dos municípios do Litoral Paranaense.

	Área Territorial (Km ²)	População*	Densidade Demográfica (Hab./Km ²)	IDH**
Antonina	882,317	18.919	21,41	0,687
Guaraqueçaba	2.017,030	7.554	3,90	0,587
Guaratuba	1.326,670	37.974	24,19	0,717
Matinhos	117,899	35.705	249,93	0,743
Morretes	684,580	16.485	22,96	0,686
Paranaguá	826,431	157.378	169,92	0,750
Pontal do Paraná	200,410	28.529	104,67	0,738
Total do Litoral	6.055,337	302.544	49,96	0,701
Total do Estado	199.298,981	11.597.484	52,40	0,749
Porcentagem do Litoral no total estadual	3,04%	2,60%		

Fonte: Elaborado a partir de dados do IBGE, 2021.

*População estimada para 2021.

**IDH – Índice de Desenvolvimento Humano para o ano base de 2010.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região pode ser classificado como Cfa – Zona subtropical úmida, com médias de temperatura anuais de 25°C no mês mais quente e abaixo de 17°C no mês mais frio e precipitações anuais variando entre 1.700 e 3.000mm (ALVARES *et al.*, 2014). Em relação a vegetação, o litoral paranaense possui uma rica diversidade de paisagens, as quais incluem desde praias arenosas, restingas, estuários, manguezais, e florestas, até campos alto montanos e a Serra do Mar (PAULA *et al.*, 2018b). Essa diversidade de paisagens permite a existência de uma das maiores biodiversidades do planeta, bastante característica do Bioma no qual está inserido, a Mata Atlântica. A relevância da região para a conservação deste bioma já foi reconhecida em diversos títulos ambientais nacionais e internacionais. Tais títulos incluem o Tombamento Estadual da Serra do Mar (1986); a definição da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (1993) e dos Sítios de Patrimônio Natural (1999) pela UNESCO; e o reconhecimento do Mosaico LAGAMAR (2006) e do Sítio Ramsar (2017).

Além disso a região faz parte da chamada “Grande Reserva da Mata Atlântica”, uma área que abrange o contínuo de vegetação nativa do bioma entre as cidades de Joinville (Santa Catarina), Curitiba (Paraná) e São Paulo (São Paulo), incluindo as áreas litorâneas e da Serra do Mar, além da porção marinha até a isóbata de 50 metros (BORGES *et al.*, 2021). Este é o maior fragmento contínuo de Mata Atlântica existente, correspondendo a cerca de 10% de toda a área remanescente. Diversos pesquisadores e instituições tem defendido seu uso como destino para o turismo de natureza, o que tem potencial para garantir não só a conservação da biodiversidade, mas também a prevalência de culturas tradicionais na região.

Se por um lado existe grande reconhecimento e apelo para a conservação do patrimônio natural e histórico-cultural do litoral, por outro tem se observado um aumento progressivo de esforços de entidades privadas e públicas pela aprovação de complexos portuários e industriais, bem como infraestruturas diversas para a viabilização destes complexos, como rodovias e ferrovias, principalmente nas últimas duas décadas. Mesmo quando aparentemente não são voltados para interesses industriais, muito projetos governamentais têm causado polêmica entre ambientalistas, como é o caso da engorda da praia e revitalização da orla do município de Matinhos (GÓES *et al.*,

2021). O que se observa é que, historicamente, a maioria das propostas para a região segue o processo de desenvolvimento convencional, sem compromisso ou consideração com as fragilidades naturais e sociais da região, ou mesmo com a manutenção dos serviços ecossistêmicos fornecidos pela Mata Atlântica (PAULA; PIGOSSO; WROBLEWSKI, 2008), entre eles o sequestro de carbono e o fornecimento hídrico que abastece toda a região (DULLIUS, 2020).

2.2 O BIOMA MATA ATLÂNTICA

A Mata Atlântica é o bioma que apresenta os maiores índices de urbanização do país, onde 72% da população reside e 70% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro é gerado (PINTO *et al.*, 2006; VIKOU; CANEPARO; PAULA, 2017 e 2018; BORGES *et al.*, 2021). O bioma figura em quarto lugar na lista dos 25 principais *hotspots*² para conservação no planeta (MYERS *et al.*, 2000; Pinto *et al.*, 2006; GOÉS *et al.*, 2021). Com uma área original de 1.227.600 km², tem hoje menos de 7,5% da área de sua cobertura original (MYERS *et al.*, 2000). Além da perda em extensão total, os remanescentes atuais estão divididos em vários fragmentos, sendo que a maioria possui menos de 50ha e encontram-se relativamente distantes uns dos outros (BUSSLER e CAVARZERE, 2021).

A fragmentação da paisagem natural afeta a disponibilidade de habitat, tanto em quantidade quanto em qualidade (MYERS *et al.*, 2000). Conseqüentemente, a perturbação do habitat ameaça a sobrevivência das espécies, especialmente aquelas endêmicas e ameaçadas de extinção. Apesar da perda expressiva de habitat, a Mata Atlântica ainda abriga uma parcela significativa da diversidade biológica do Brasil, com altíssimos níveis de endemismo (MYERS *et al.*, 2000). Para exemplificar essa diversidade, a TABELA 2 apresenta as proporções de endemismo de plantas vasculares e principais grupos de vertebrados no total de espécies do bioma e no total de espécies no planeta. O alto grau de endemismo associado à acentuada fragmentação florestal contribui para que mais de 60% (n=383) das 633 espécies

² *Hotspots* de biodiversidade são áreas consideradas como prioritárias para a conservação sendo critério para a inclusão na categoria a grande concentração de espécies endêmicas e a alta pressão de perda de habitat (MYERS *et al.*, 2000)

presentes na lista oficial da fauna brasileira ameaçada de extinção ocorram no bioma (PINTO *et al.*, 2006).

TABELA 2 – Número total de espécies e grau de endemismo do Bioma Mata Atlântica.

	Número total de espécies	Número de espécies endêmicas	Porcentagem de endemismo (entre espécies do Bioma)	Porcentagem de endemismo (entre espécies mundiais)
Plantas vasculares	20.000	8.000	40%	2,7%
Vertebrados	1.361	567	41%	2,1%
Anfíbios	280	253	90%	5,3%
Répteis	200	60	30%	0,76%
Aves	620	73	28%	0,73%
Mamíferos	261	181	29%	3,76%

Fonte: Elaborado a partir de dados de Myers e colaboradores (2000).

Assim como no restante do país, no estado do Paraná a cobertura de Mata Atlântica, que originalmente ocupava 84% do território, também vem sofrendo perdas significativas, que foram intensificadas a partir da década de 60 (PINTO *et al.*, 2006). Hoje, estima-se que restam apenas 9% da cobertura antes existente no estado (BUSSLER e CAVARZERE, 2021). A costa paranaense, juntamente com a região litorânea dos estados de Santa Catarina, São Paulo e Rio de Janeiro, abriga considerável parte do maior remanescente contínuo deste bioma, o corredor biológico da Serra do Mar (PINTO *et al.*, 2006; RIBEIRO *et al.*, 2009, GÓES *et al.*, 2021). Além disso, esta região também vem apresentando os maiores índices de crescimento econômico do estado na última década (VIKOU; CANEPARO; PAULA, 2017).

Apesar de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) apontarem o estado do Paraná como um dos estados que mais contribuiu para o aumento de 27,2% do desmatamento da Mata Atlântica (ROSA *et al.*, 2018), este desmatamento geralmente tende a ocorrer no interior do estado (GÓES *et al.*, 2021). No litoral paranaense, os maiores riscos e impactos associados ao bioma se associam à expansão urbana e instalação de projetos de infraestrutura e portuários (GÓES *et al.*, 2021). A expansão urbana muitas vezes traz alterações relevantes tanto no padrão de uso da terra quanto na cobertura vegetal, principalmente quando não existe (ou existe e não é aplicado) um instrumento efetivo de planejamento territorial (VIKOU; CANEPARO; PAULA,

2018), que considere as vocações naturais, fragilidades e potencialidades da área. Este é o caso dos municípios que compõem a costa paranaense, o que é agravado pelo fato de que os principais remanescentes estaduais da Mata Atlântica estão situados nessa região (PAULA *et al.*, 2018b).

A relevância do bioma devido a sua biodiversidade e serviços ecossistêmicos fornecidos, somada a sua fragilidade ambiental, aos altos índices de fragmentação, grande grau de ameaça por atividades antrópicas e a diversidade socioeconômica e cultural da população humana residente nela, tornam a conservação da Mata Atlântica um desafio complexo. Uma das estratégias que podem ser adotadas para a proteção de áreas de grande relevância ambiental é a implantação de áreas protegidas, sejam elas na esfera pública ou privada.

2.3 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO LITORAL PARANAENSE

Atualmente, a estratégia mundial mais comum para conservação da biodiversidade, proteção de habitat e manutenção de processos naturais e serviços ecossistêmicos frente ao aumento das atividades antrópicas é a criação de Unidades de Conservação – UCs (FREITAS *et al.*, 2013). No Brasil, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) foi criado em 18 de julho de 2000, por meio da Lei n. 9.985 (BRASIL, 2000), que define o termo “Unidade de Conservação (UC)” como:

“espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção” (BRASIL, 2000).

Essa mesma lei divide as UCs em dois grandes grupos (Proteção Integral e Uso Sustentável) e doze diferentes categorias, sejam elas de responsabilidade pública (esfera municipal, estadual ou federal) ou privadas. O SNUC define as UCs de Proteção Integral (PI) como aquelas que tem como objetivo a “manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitindo apenas o uso indireto dos seus atributos naturais”. Esta categoria está dividida, de acordo com sua função de criação,

em: Estações Ecológicas (ESEC); Reservas Biológicas (REBIO); Parques Nacionais (PARNA); Monumentos Naturais (MN) e Refúgio de Vida Silvestre (RVS).

Já as UCs de Uso Sustentável (US) “permitem o uso direto de seus recursos naturais, desde que tenham um manejo adequado e uma compatibilização entre a conservação da natureza e o uso sustentável dos recursos naturais”. Para esta categoria, são colocadas as seguintes subdivisões: Área de Proteção Ambiental (APA); Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE); Floresta Nacional (FLONA); Reserva Extrativista (RESEX); Reserva de Fauna (REFAU); Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS); Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN). Além disso, o estado do Paraná possui outras duas categorias de UCs de Uso Sustentável, sendo elas: Áreas Especiais de Uso Regulamentado (AEUR) e Áreas Especiais de Interesse Turístico (AEIT).

Devido a sua importância ambiental, 82,6% da área do litoral paranaense se encontra protegida por alguma categoria de UC (FIGURA 2), com aproximadamente 29% (1.894,1 km²) da área sob o regime de proteção integral, e cerca de 53% (7.659,38 km²) destinadas ao uso sustentável (PAULA; PIGOSSO; WROBLEWSKI, 2008). Esta cobertura de área parece bastante elevada quando comparada a cobertura total do estado por UCs, que é equivalente a 15,31% (30.523,58 km²). O estado do Paraná possui no total 360 UCs (BUSSLER e CAVERZERE 2021), das quais 44 pertencem ao litoral paranaense e somam uma área total de 9.553,48 km², ou seja, 31,29% da área coberta por UCs no estado.

As UCs existentes na região de estudo estão descritas na TABELA 3. A criação dessas unidades de conservação no litoral se intensificou a partir da década de 70, seguindo o crescimento do movimento ambientalista nacional. Atualmente a quantidade de UCs e mesmo a existência de algumas delas são frequentemente motivos de conflitos, tanto com defensores do modelo convencional de desenvolvimento econômico, quanto com algumas das comunidades tradicionais como os pescadores artesanais (PAULA; PIGOSSO; WROBLEWSKI, 2008; PAULA *et al.*, 2018b).

TABELA 3 – Unidades de Conservação do litoral do Paraná.

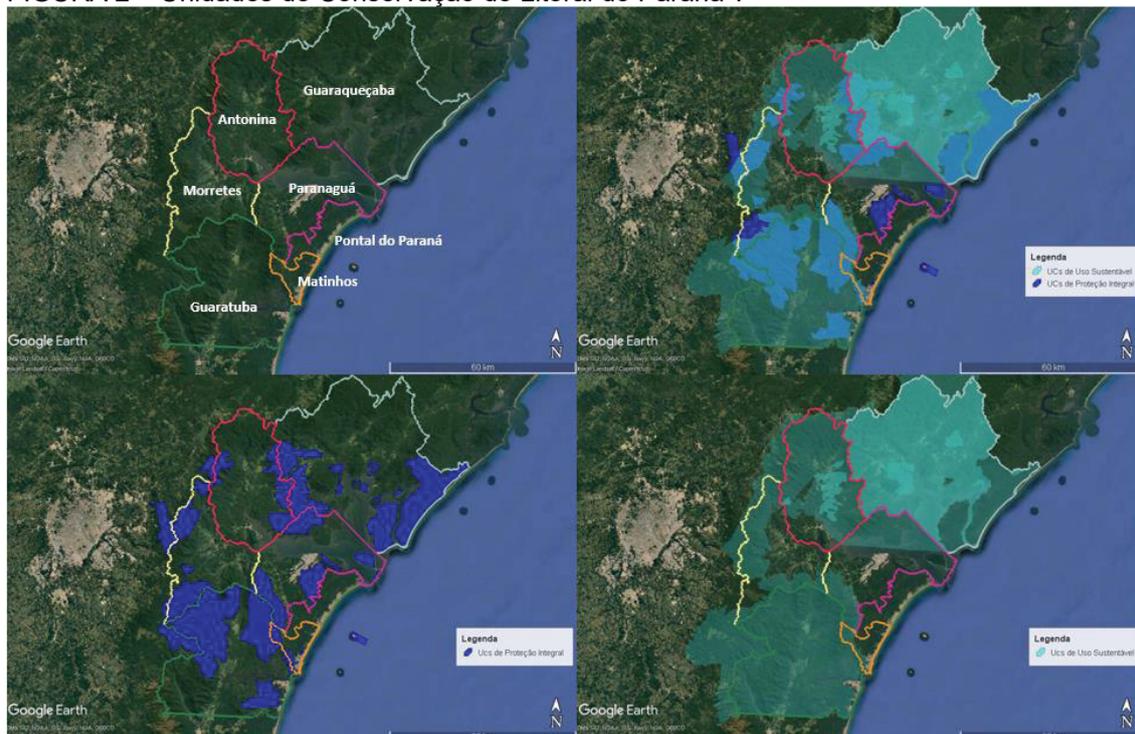
Unidade	Tipo	Esfera	Área (ha)	Municípios
AIET do Marumbi	US	Estadual	67.091,7	Antonina/Morretes/São José dos Pinhais/Piraquara/Quatro Barras e Campina Grande do Sul
APA Estadual de Guaraqueçaba	US	Estadual	231.799,3	Guaraqueçaba
APA Estadual de Guaratuba	US	Estadual	199.447	Guaratuba/Matinhos/Paranaguá/Morretes/São José dos Pinhais/Tijucas do Sul
APA Federal do Guaraqueçaba	US	Federal	245.839,3	Guaraqueçaba/Paranaguá/Antonina/Campina Grande do Sul
ESEC do Guaraguaçu	PI	Estadual	1.188,8	Paranaguá
ESEC Guaraqueçaba	PI	Federal	4.374,2	Guaraqueçaba
ESEC Ilha do Mel	PI	Estadual	2.191,7	Paranaguá
PARNA Guaricana	PI	Federal	49.300	Guaratuba/Morretes/São José dos Pinhais
PARNA Marinho Ilha dos Currais	PI	Federal	1.350,3	Pontal do Paraná
PARNA Saint Hilaire-Lange	PI	Federal	25.126,5	Morretes/Paranaguá/Matinhos/Guaratuba
PARNA Superaquí	PI	Nacional	34.201,6	Guaraqueçaba
Parque Estadual da Graciosa	PI	Estadual	1.147,6	Morretes
Parque Estadual da Ilha do Mel	PI	Estadual	363,3	Paranaguá
Parque Estadual da Serra da Baitaca	PI	Estadual	3.008,8	Piraquara e Quatro Barras
Parque Estadual do Boguaçu	PI	Estadual	6.660,6	Guaratuba
Parque Estadual do Palmito	PI	Estadual	1.788,9	Paranaguá
Parque Estadual do Pau Oco	PI	Estadual	880,8	Morretes
Parque Estadual do Rio da Onça	PI	Estadual	119,2	Matinhos
Parque Estadual Pico do Marumbi	PI	Estadual	8.794,6	Morretes/Quatro Barras/Piraquara
Parque Estadual Pico do Paraná	PI	Estadual	4.332,9	Antonina/Campina Grande do Sul
Parque Estadual Roberto Ribas Lange	PI	Estadual	2.801,9	Morretes/Antonina/Campina Grande do Sul
Parque Municipal da Cotinga	PI	Municipal	854,8	Paranaguá
Parque Municipal da Restinga	PI	Municipal	398	Pontal do Paraná
Parque Municipal do Guará	PI	Municipal	6,6	Paranaguá
Parque Municipal do Morro do Boi	PI	Municipal	13,7	Matinhos
Parque Municipal do Sertãozinho	PI	Municipal	20,3	Matinhos
Parque Municipal do Tabuleiro	PI	Municipal	3,6	Matinhos
Parque Municipal dos Valadares	PI	Municipal	41	Paranaguá
Parque Municipal Linear do Emboguaçu	PI	Municipal	27,3	Paranaguá
Parque Municipal Morro do Sambaqui	PI	Municipal	6,3	Matinhos
Parque Municipal Natural Lagoa do Parado	PI	Municipal	3.509,3	Guaratuba
Parque Municipal Praia Grande	PI	Municipal	17,3	Matinhos
Parque Municipal Rio Perequê	PI	Municipal	28	Pontal do Paraná
REBIO Bom Jesus	PI	Federal	34.201,6	Guaraqueçaba/Antonina/Paranaguá
Reserva Natural das Águas	US	Particular	3.426,6	Antonina/Morretes
Reserva Natural Guaricica	US	Particular	8.847,8	Antonina
Reserva Natural Papagaio-da-cara-Roxa	US	Particular	6.702,1	Guaraqueçaba
Reserva Natural Salto Morato/Fazenda Figueira	US	Particular	2.252,9	Guaraqueçaba
RPPN Encantadas	US	Particular	18,8	Antonina
RPPN Perna do Pirata	US	Particular	18,7	Morretes
RPPN Reserva da Pousada Graciosa	US	Particular	23,4	Morretes
RPPN Sebuí	US	Particular	425,7	Guaraqueçaba
RPPN Sítio do Bananal	US	Particular	31,5	Morretes
RPPN Vô Borges	US	Particular	21,5	Morretes

Fonte: Elaborado a partir de Paula e colaboradores (2018b).

Apenas 71 (19,72%) das 360 Unidades de Conservação do estado do Paraná possuem Planos de Manejo (BUSSLER e CAVARZERE, 2021). Das 44 UCs do litoral paranaense, 30 (68,2%) não possuem Planos de Manejo, documento técnico que estabelece os objetivos gerais, zoneamento, normas de

uso da terra, manejo de recursos naturais e estruturas físicas importantes para o funcionamento da UC (PAULA; PIGOSSO; WROBLEWSKI, 2008). Das 14 restantes: três (6,8%) estão em fase de elaboração do documento, duas (4,5%) estão em fase de análise, uma (2,3%) está em fase de homologação e oito (18,2%) possuem um Plano de Manejo implantado (PAULA; PIGOSSO; WROBLEWSKI, 2008).

FIGURA 2 – Unidades de Conservação do Litoral do Paraná*.



Fonte: Elaborado a partir do Software Google Earth.

* UCs de Proteção Integral em azul escuro e UCs de Uso Sustentável em azul claro

A ausência dos Planos de Manejo das UCs, juntamente com a instabilidade política das agências de meio ambiente, podem ser consideradas pontos frágeis da conservação ambiental do litoral paranaense. Entre os principais problemas decorrentes disso, podem ser citados a situação fundiária indefinida, a presença de populações humanas em UCs de Proteção Integral, a falta de pessoal técnico e recursos financeiros, entre outros (PINTO *et al.*, 2006). Apenas a criação legal no papel das Unidades de Conservação não é suficiente para garantir a proteção da área, sendo necessária também a implantação do plano de manejo, a formação de uma equipe ou conselho gestor e o compromisso dos órgãos ambientais para que a UC efetivamente possa existir e cumprir seu papel de proteção do patrimônio natural (PAULA *et al.*, 2018b).

A consolidação das UCs, bem como a valorização da proteção de suas Zonas de Amortecimento (área de entorno da UC) se tornam ainda mais essenciais quando observamos o quadro crescente de expansão urbana e pressão industrial e portuária ao qual o litoral vem sendo submetido nos tempos atuais (VIKOU; CANEPARO; PAULA, 2017). Uma alternativa para o paradigma entre o ímpeto de crescimento econômico e prestação de serviços essenciais à sociedade moderna e a necessidade de conservação de biodiversidade é aproveitar a vocação da região para o turismo científico, ecológico e de lazer por meio de uma gestão territorial voltada para a conservação do patrimônio ambiental associado a aspectos culturais (PAULA; PIGOSSO; WROBLEWSKI, 2008; PAULA *et al.*, 2018b). Isto pode ser alinhado a uma gestão eficiente das UCs da região, uma vez que 30 dos principais atrativos turísticos do litoral encontram-se nelas (PAULA *et al.*, 2018b).

2.4 RODOVIAS E EXPANSÃO DE ATIVIDADES INDUSTRIAIS E PORTUÁRIAS NA COSTA PARANAENSE: IMPACTOS E AMEAÇAS

2.4.1 O Passado: Histórico da ocupação e construção de estradas no Litoral Paranaense

A província do Paraná se tornou independente da capitania de São Paulo em 1853, quando as únicas duas cidades existentes nela eram Curitiba e Paranaguá. O trajeto entre a vila de Matinho, hoje Município de Matinhos, e a cidade de Paranaguá era realizado apenas por barcos a vela por via marítima (num tempo médio de cerca de dois dias) ou por carroças de roda de madeira maciça puxadas por bois (FERREIRA e SCHIMTZ, 2011).

Já na década de 1870, a partir da implantação de colônias agrícolas (inicialmente Alexandra, seguida por Maria Luiza, Quintilha, Pereira e Cambará), ocorreu a necessidade da abertura da Estrada das Colônias, uma estrada carroçável que ligava Paranaguá à Baía de Guaratuba, a partir de onde o transporte era feito por pequenas embarcações (RIBEIRO, 2008). Em 1916, a fim de tornar a ligação entre Paranaguá e Guaratuba mais rápida e eficiente, o governo do estado melhorou as condições da estrada e a chamou de Estrada

Alboit, a qual ficou conhecida como “a estrada do morro do ai-Jesus” devido as dificuldades encontradas no percurso (RIBEIRO, 2008).

Até o ano de 1928 não existiam estradas pavimentadas entre os municípios do litoral, sendo que todo o transporte era feito por barcos ou carroças (FERREIRA e SCHIMTZ, 2011). No ano de 1926 ocorreu a abertura da Estrada do Mar (hoje a rodovia estadual PR-407), que foi responsável pelo desencadeamento de mudanças profundas na urbanização da região ao conectar Paranaguá ao oceano (BIGARELLA, 2009). Com esta estrada vieram os primeiros veranistas, trazidos por diligências e lotações, e com eles o comércio e a instalação de estruturas voltadas ao turismo de praia.

A Estrada do Mar gerou diversas polêmicas e protestos desde a sua pavimentação pelo Departamento de Estradas e Rodagens (DER) do Paraná, sendo ela feita a partir da destruição de algumas dezenas de sambaquis, restos da cultura paranaense que, apesar de representarem um inestimável patrimônio cultural, em sua maioria foram perdidos (BIGARELLA, 2009). Do ponto de vista desta tese, a construção da Estrada do Mar pode ser considerada como o início dos impactos rodoviários na região, já que não só foi a primeira estrada oficialmente construída pelo poder público, representado pelo DER, como também foi realizada sem considerar o patrimônio histórico-ambiental local, padrão que tem se repetido ao longo das décadas para os empreendimentos que visam o desenvolvimento econômico da região.

A partir da década de 1930, na região de “Matinho” (hoje chamada de Caiobá), ocorreram os primeiros loteamentos do litoral paranaense, feitos principalmente por turistas alemães vindo da cidade de Curitiba. Já nas décadas de 1940 e 1950, seguindo o movimento de realização de obras no país, o litoral também passou por um processo de implantação de canais e rodovias, entre elas as estradas que ligaram Matinhos à Praia de Leste e Caiobá (RIBEIRO, 2008). Foi nessa época que ocorreu a criação do Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), que, visando a urbanização e saneamento dos municípios, passou a fazer alargamentos, canalizações, retificações e aterramentos dos rios existentes, estabelecendo profundas mudanças no quadro hidrográfico local, uma vez que os projetos não obedeceram a dinâmica natural dos cursos d’água e sim a demanda do aumento do número de veranistas e moradores que chegavam ao litoral (FERREIRA e SCHMITZ, 2011).

A partir da década de 1950, os balneários paranaenses passaram por um acelerado processo de urbanização com a construção de instalações urbanas, pavimentação de ruas e aberturas de novas estradas. Durante as décadas de 1960 e 1980, teve início o processo de interiorização de populações de baixa renda, que não só refletiu no desmatamento de áreas florestais da região e poluição de rios por esgotos ilegais, como também contribuiu para o aumento dos índices de criminalidade, tráfico e uso de drogas (RIBEIRO, 2008).

Já na década de 1990, esse movimento de crescimento passou por uma desaceleração e estagnação da construção civil. No litoral, essa época foi marcada por invasões de terras e áreas periurbanas, que consolidaram a periferia do litoral (RIBEIRO, 2008)

2.4.2 O Presente: Situação atual da Malha Viária na região

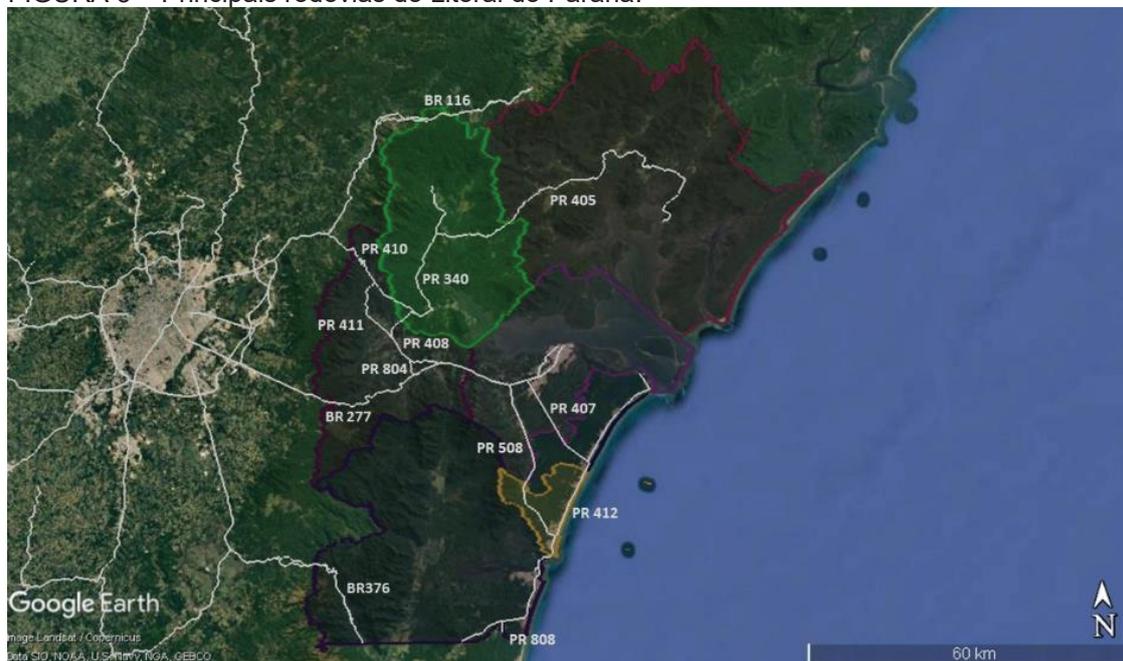
Uma das maneiras de verificarmos a relação entre as estradas e a paisagem é o cálculo da densidade viária, ou seja, o número de quilômetros de pista (em extensão) em relação ao número de quilômetros quadrados da área estudada (CIRINO e FREITAS, 2018). A partir dos dados sobre as rodovias (municipais, estaduais e federais) disponíveis no Sistema Rodoviário Estadual (PARANÁ, 2020; TABELA 4), foi possível calcularmos a densidade da malha viária (total, pavimentada e não pavimentada) para a região. A densidade da malha viária total foi de $0,217\text{km}/\text{km}^2$, sendo inferior à densidade da malha viária do estado, que é de aproximadamente $0,6\text{km}/\text{km}^2$. Apesar destes valores serem significativamente menores do que em outros estados, como São Paulo (densidade de $0,8\text{km}/\text{km}^2$; ABRA *et al.*, 2019), as rodovias existentes têm um importante fluxo de veículos, seja devido ao transporte de produtos gerado pelo Porto de Paranaguá ou pelo deslocamento de pessoas em direção às praias durante as temporadas de veraneio.

TABELA 4 – Malha rodoviária da região do Litoral Paranaense.

Tipo	Pista	Esfera	Extensão (Km)	Densidade (Km/km ²)
Pavimentada	simples	Municipal	7,56	0,069 Km/km ²
		Estadual	181,17	
		Federal	7,6	
	dupla	Municipal	0	
		Estadual	69,42	
		Federal	152	
Não Pavimentada	simples	Municipal	819,9	0,148 Km/km ²
		Estadual	77	
		Federal	0	
Total			1318,65	0,217 Km/km ²

Em relação à distribuição das rodovias existentes na região, os municípios do Litoral são divididos em “Litoral Norte” (Guaraqueçaba, Antonina e Morretes) e “Litoral Sul” (Paranaguá, Pontal do Paraná, Matinhos e Guaratuba) por uma grande rodovia federal, a BR-277, que faz a ligação da capital do estado com o Porto de Paranaguá. As rodovias existentes na região podem ser observadas na FIGURA 3.

FIGURA 3 – Principais rodovias do Litoral do Paraná.



Fonte: Elaborado a partir do Software Google Earth.

2.4.3 O Futuro: empreendimentos previstos para a região

Assim como em diversas outras áreas de economia emergente no globo, a abertura de estradas tem sido vista por alguns setores da sociedade como uma das maiores alternativas para fomentar o desenvolvimento econômico e reduzir a pobreza na região. O desafio atual para a região é buscar o equilíbrio entre as diversas reivindicações privadas e públicas de crescimento industrial e portuário e a proteção do patrimônio natural da Mata Atlântica e seus serviços ecossistêmicos associados (PAULA; PIGOSSO; WROBLEWSKI, 2008; PAULA *et al.*, 2018b).

Além de rodovias, portos e outros empreendimentos portuários já implantados, a região tem sido visibilizada por empresários como potencial promotora de crescimento econômico e desenvolvimento para o estado (PAULA; PIGOSSO; WROBLEWSKI, 2008). Para que isso ocorra, estes grupos defendem a implementação e ampliação de empreendimentos portuários e suas infraestruturas de acesso, com o objetivo de realizar o transporte de *commodities* (GÓES *et al.*, 2021).

Ao analisarem os cenários futuros de expansão das atividades portuárias e infraestruturas a ela associadas, Paula e colaboradores (2018b) relatam uma expansão sem precedentes das ameaças tanto para a população costeira quanto para a biodiversidade local. Em seus levantamentos, os autores identificaram no mínimo treze grandes empreendimentos portuários em processo de licenciamento ambiental, sendo que, para muitos desses, a viabilidade de implantação está condicionada ao aumento das estruturas de acessos, como rodovias (seis projetos previstos), ferrovias (três projetos previstos) e canais de navegação (dois dutos e duas dragagens profundas previstos). É importante ressaltar que estes empreendimentos podem trazer não apenas prejuízos ambientais, mas também podem afetar negativamente povos e comunidades tradicionais da região. Considerando que para a maior parte dos projetos previstos existe a sobreposição das áreas com o local de vida de comunidades despossuídas de capital econômico e político, a valorização das terras tem causado processos de grilagem e especulação imobiliária em todos os municípios (GÓES *et al.*, 2021).

Apesar de serem reconhecidas como ferramenta de desenvolvimento econômico e social, nem todas as estradas cumprem esse papel. O planejamento e construção de uma estrada deve ser muito bem avaliado pois, uma vez construída, uma rodovia se torna um elemento permanente na paisagem. Uma estrada do tipo errado construída em um local errado, pode ter diversas consequências negativas a longo prazo, tanto para o ambiente quanto para a sociedade (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015).

A construção de novas rodovias, incluindo a duplicação de rodovias já existentes, deve ser prioritariamente planejada para as regiões para áreas onde a paisagem natural já se encontra fragmentada e com potencial para a melhoria do desenvolvimento agrícola, onde a instalação e ampliação dessas infraestruturas tragam benefícios econômicos e sociais sem maiores impactos ao meio ambiente (LAURENCE *et al.*, 2014). Dessa forma, áreas com baixa densidade de estradas, como é o caso do Litoral do Paraná, ou áreas de baixo tráfego devem ser privadas da construção de novas rodovias, uma vez que tais construções podem afetar os serviços ecossistêmicos e a viabilidade populacional de várias espécies (SECCO *et al.*, 2022).

Laurence e colaboradores (2014) ressaltam ainda a necessidade de se adotar uma estratégia global para a construção e zoneamento de novas estradas, uma vez que a falta de tal estratégia tem causado prejuízos em projetos rodoviários ao longo de todo o planeta. Num contexto de expansão viária sem precedentes, muitos projetos de estradas têm sido avaliados, aprovados e executados com poucas informações em um contexto mais amplo, principalmente sobre os efeitos socioambientais além daqueles relativos à pista de rodagem (MOORE *et al.*, 2021).

No litoral esta situação não é diferente. O exemplo mais atual na região é a previsão de construção da faixa de infraestrutura em Pontal do Paraná, cujo traçado afeta direta e indiretamente áreas de preservação permanente (APP), UCs, Comunidades Tradicionais, Terras Indígenas, entre outras áreas naturais não protegidas, mas de relevância para o local. O desmatamento e a abertura dessas estradas causam preocupações à diversos pesquisadores e ambientalistas da região, não só pelo empreendimento em si, mas por suas consequências indiretas.

A instalação de empreendimentos viários quase sempre vem acompanhada de ocupações de áreas que anteriormente não atraíam investimentos. Espaços e recursos que antes estavam “ociosos ou subutilizados” do ponto de vista produtivista/econômico acabam por receber uma nova forma de uso territorial (ACSELRAD, 2013) causando problemas sociais como a especulação imobiliária, que já é bastante frequente na região. Além disso, novas estradas podem levar ao aumento de atividades ilegais como caça e mineração (LAURENCE, 2015).

Quando o empreendimento viário e os impactos causados por ele não são devidamente previstos e planejados, as novas atividades realizadas muitas vezes causam uma ocupação densa e acelerada que traz consigo o uso degradante de diversos recursos ambientais. Como exemplo, podemos citar a região da floresta amazônica, onde sabe-se que 95% do desmatamento, incêndios e emissões de gases do efeito estufa ocorrem em até cinco quilômetros de distância de uma rodovia legal ou ilegal (LAURENCE, 2015).

2.5 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Moore e colaboradores (2021) afirmam que a conservação ambiental e o desenvolvimento econômico devem ser movidos pela responsabilidade ética e moral de reduzir e reverter os impactos antrópicos e salvaguardar a biodiversidade, as pessoas e o legado histórico de uma área. Quando pensamos na expansão da infraestrutura viária no Litoral do Paraná, devemos considerar que a abertura de novas estradas em uma área com alto valor socioambiental requer amplas e específicas análises e providências estratégicas sustentáveis, com intencionais esforços, sempre que possível para evitá-la. Devido a todas as características socioambientais apresentadas até então, é essencial que o processo de proposição, licenciamento ambiental e construção de qualquer empreendimento na área do litoral do Paraná levem em consideração além dos interesses empresariais e do estado fatores como as características do bioma e da população local, com especial atenção para povos e comunidades tradicionais (GÓES *et al.*, 2021).

O levantamento, mensuração e mitigação dos impactos de rodovias são essencialmente decisões éticas. Para tal, se faz necessária a construção de uma

estrutura de conhecimentos para considerar e avaliar as decisões de forma a incluir todas as partes interessadas num processo mais holístico e incluyente, impedindo a tomada de decisões monopolistas que utilizam o transporte como prioridade absoluta de desenvolvimento socioeconômico. A ciência chamada Ecologia de Estradas, que será discutida no próximo capítulo, pode tornar-se então uma ferramenta valiosa para considerar a necessidade, trajeto e medidas de mitigação de problemas ambientais causados por rodovias já existentes e previstas para regiões com alta fragilidade e importância ambiental.

3. ECOLOGIA DE ESTRADAS: UMA REVISÃO PARA VETERINÁRIOS³

3.1 ECOLOGIA DE ESTRADAS

Empreendimentos de transporte como rodovias, ferrovias, portos e aeroportos são a base para a expansão das atividades econômicas, pois ampliam o acesso a novas regiões e incentivam o escoamento de pessoas e produtos (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015). Porém, à medida que vai se expandindo, a rede viária mundial vem acumulando efeitos primários e secundários em componentes humanos, bióticos e abióticos de ecossistemas terrestres e aquáticos (SEILER, 2001; COFFIN, 2007; HILL; DEVAULT; BELANT, 2019).

Desde que surgiram, com a intenção de possibilitar um maior contato entre povos e acesso a recursos, é inegável o efeito positivo das estradas para as sociedades humanas, o que explica o fato de a expansão viária acompanhar o crescimento populacional (SEILER, 2001; FORMAN *et al.*, 2003). Muitos governantes e bancos internacionais de apoio ao desenvolvimento defendem a melhoria e construção de estradas como estratégia prioritária para melhorar índices de qualidade de vida humana (LAURENCE, 2015; VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015).

Seiler (2001) divide a relação humana com estradas em dois grandes momentos. Inicialmente, apesar de já terem implícitos em sua abertura os valores econômicos, militares e administrativos, as estradas faziam parte do contexto ambiental e cultural da paisagem, sendo subjugadas aos fatores ambientais e de relevo já existentes. A partir da década de 1920, com o surgimento do tráfego motorizado, e principalmente nas décadas de 1970/1980, com o progresso tecnológico e a engenharia moderna, as estradas passaram a se impor aos padrões naturais da paisagem, rompendo processos e ligações ecológicas e fragmentando cada vez mais a paisagem. Desde então, a malha viária por si só se retroalimenta causando o efeito cumulativo, já que quanto mais

³ Após a defesa, esse capítulo será submetido a Revista Brasileira de Medicina Veterinária da Sociedade de Medicina Veterinária do Rio de Janeiro (<https://www.sumarios.org/revista/revista-brasileira-de-medicina-veterin%C3%A1ria>)

estradas, maior a presença e atividade humana e com elas maior a necessidade de estradas (SISSON, 2017).

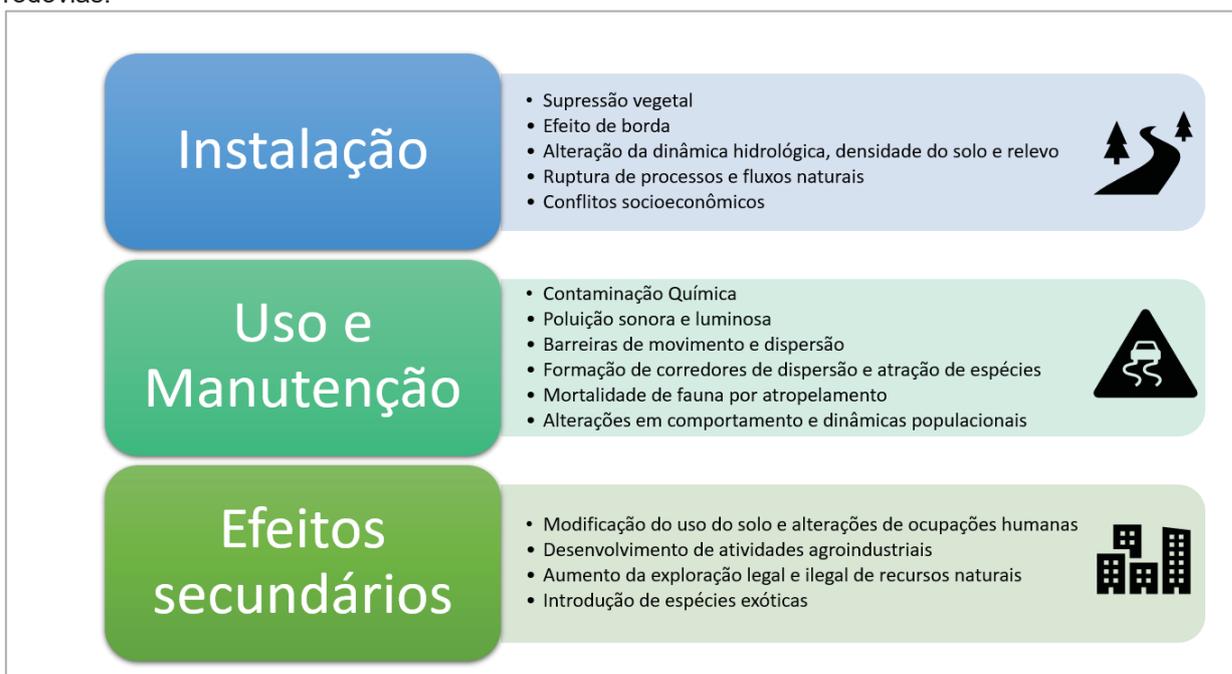
No ano de 2013, o comprimento total das rodovias no planeta era de 64 milhões de quilômetros, e a previsão é de que pelo menos 25 milhões de quilômetros de novas estradas serão construídos até o ano de 2050 (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015), o que aumentará a extensão global das estradas em 60% se comparada ao ano de 2010 (LAURENCE *et al.*, 2014). Nove em cada dez dessas novas estradas estão previstas para serem construídas em nações em desenvolvimento e com economia emergente, incluindo regiões com substancial biodiversidade e serviços ecossistêmicos vitais (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015; LAURENCE *et al.*, 2014).

Esse crescimento acelerado (e muitas vezes não planejado) da malha viária traz consigo o grande desafio de conciliar as necessidades humanas de serviços e desenvolvimento com a conservação dos cada vez mais escassos remanescentes ambientais e sua biodiversidade. As infraestruturas ligadas aos diversos modais de transporte são consideradas atualmente como os impactos antropogênicos à saúde humana e ambiental mais amplamente distribuídos (HILL; DEVAULT; BELANT, 2019; MOORE *et al.*, 2021). Estimativas mostram que, por meio de fragmentação de habitat e distúrbios/anulação do fluxo de espécies silvestres, projetos de desenvolvimento de infraestrutura afetam a biodiversidade em 22 a 50% nos Estados Unidos, em 5 a 15% no Ártico e em 48% na escala global (GÓES, 2014).

A publicação do livro chamado "*Road Ecology: Science and solutions*" por Forman e colaboradores no ano de 2003 é considerada como o marco inicial da Ecologia de Estradas como ciência (COFFIN, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2020). A Ecologia de Transportes, e dentro dela a Ecologia de Estradas, é a ciência que tem como objeto de estudo os impactos que a construção e a operação das infraestruturas utilizadas para o transporte causam no meio ambiente (FAHRIG e RYTWINSKI, 2009; FORMAN *et al.*, 2003). Nas últimas duas décadas, os estudos relacionados aos impactos ambientais de rodovias cresceram consideravelmente (OLIVEIRA *et al.*, 2020) e tem abrangido tanto o desenvolvimento de teorias, modelos e conceitos que descrevem as interferências ecológicas das estradas como procuram estabelecer estratégias de planejamento, construção e manutenção de empreendimentos de transporte

mais sustentáveis (MOORE *et al.*, 2021). Na FIGURA 4 pode ser observada uma síntese dos principais impactos socioambientais causados direta ou indiretamente por rodovias, e que tem sido objeto de estudos na área de Ecologia de Estradas.

FIGURA 4 – Resumo dos principais impactos socioambientais diretos e secundários das rodovias.



Diversas avaliações de impactos de rodovias têm tido um alvo limitado apenas aos efeitos diretos da construção da infraestrutura, ignorando efeitos indiretos críticos como: degradação da vegetação e desmatamento, incêndios, caça/extratativismo ilegal e especulação imobiliária (LAURENCE *et al.*, 2014). Além disso, muitas vezes os questionamentos sobre os impactos ambientais deixam o ônus da prova para ambientalistas e aqueles que se opõem as rodovias, os quais nem sempre tem o acesso (e o recurso financeiro para obtenção deles) sobre as espécies raras, recursos biológicos e serviços ecossistêmicos necessários para que seja determinado o seu real custo ambiental (LAURENCE *et al.*, 2014).

Mesmo sendo uma ciência em rápido crescimento, a Ecologia de Estradas tem tido seus estudos focados em apenas alguns dos impactos causados pelas rodovias, sendo o principal o atropelamento de fauna. Existem importantes lacunas de conhecimento nos estudos de impactos rodoviários,

principalmente em relação aos aspectos sociais globais, comportamento animal, medidas mitigatórias e potencial para dispersão de sementes de plantas exóticas e invasoras (SEILER, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2020). A ampliação e fortalecimento dos estudos de Ecologia de Estradas, bem como a transformação de seus produtos em estratégias de políticas públicas é essencial para a manutenção de um ecossistema equilibrado não só de maneira ambiental, como também socioeconômica.

3.2 IMPACTOS DAS RODOVIAS NA BIODIVERSIDADE

O Brasil, um dos países mais mega diversos, possui o quarto maior sistema rodoviário do planeta (SECCO *et al.*, 2022) com 1.720.700 quilômetros de rodovia que são responsáveis por 56% da movimentação das cargas no país (Confederação Nacional dos Transportes - CNT, 2020). Sabe-se que, enquanto conectam pessoas e serviços, as estradas e rodovias acabam muitas vezes desconectando diversos fragmentos de áreas florestais ao redor de todo o globo terrestre (SEILER, 2001). Isso ocorre porque elas causam mudanças profundas, e muitas vezes irreversíveis, nos ambientes naturais onde se inserem, tanto em nível abiótico quanto biótico (SEILER, 2001; LAURENCE *et al.*; 2014). Desta maneira, acabam alterando de forma bastante rápida a composição biológica e a configuração espacial das paisagens, interrompendo processos e serviços ecológicos promovendo a perda, degradação, fragmentação e conversão de habitat (FORMAN *et al.*, 2003). Os principais impactos causados pelos empreendimentos de infraestrutura viária sobre a biodiversidade e ecossistemas são: a degradação de solo, lençóis freáticos e ecossistemas aquáticos; contaminação por produtos químicos e/ou poluentes como gases tóxicos, metais pesados, nutrientes e moléculas orgânicas; mudanças na dinâmica florestal e composição de diferentes grupos faunísticos devido aos efeitos de borda; mortalidade da fauna silvestre por atropelamento, aumento da predação e pressão de caça humana; alterações estruturais e demográficas nas populações; criação de barreiras no movimento da fauna silvestre e interrupção do fluxo gênico; e aumento na probabilidade de inserção de espécies exóticas invasoras.

Para fins de organização desta revisão, os impactos primários causados por rodovias serão aprofundados a partir de cinco grandes categorias propostas

por Seiler (2001): Perda de habitat, Perturbação de Habitat, Corredores de Dispersão, Efeito Barreira e Mortalidade. Perda e perturbação de habitat serão abordadas em um mesmo item para promover mais fluidez na discussão.

3.2.1 Perda e Perturbação de Habitat

A construção de rodovias inevitavelmente altera o tipo de cobertura original da paisagem, gerando o chamado “efeito de borda” e aumentando a fragmentação florestal (XIE *et al.*, 2021). No que diz respeito a supressão vegetal causada pela abertura de uma estrada, a melhor estratégia para manter a integridade das áreas naturais é “evitar o primeiro corte”, ou seja, mantê-la livre da presença de estradas (MOORE *et al.*, 2021; VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015; LAURENCE *et al.*, 2014). Quando uma rodovia é aberta, especialmente em regiões ambientalmente conservadas, rapidamente percebe-se um aumento drástico na colonização humana das áreas de entorno, na desorganização do ecossistema original e na superexploração da vida silvestre e dos recursos naturais. Assim, o desmatamento causado pela abertura de uma estrada acaba se expandindo progressivamente, seja pelo aumento da atividade humana em seu entorno, seja pela tendência de que a abertura de uma estrada tem de gerar redes de estradas secundárias e terciárias (o chamado efeito “espinha de peixe”), que aumentam ainda mais a extensão dos danos ambientais (LAURENCE *et al.*, 2014).

Mesmo quando ignorada a existência deste efeito de abertura de estradas secundárias, o impacto de supressão vegetal ainda pode ser considerado grande. Se considerarmos não apenas a pista em si, mas a área total da infraestrutura, tem-se o cálculo de que algumas autoestradas chegam a desmatar mais de dez hectares para cada quilômetro de pista (SEILER, 2001). Para facilitar a manutenção da infraestrutura da pista, muitas vezes a vegetação original do entorno também é removida, o que pode causar efeito de borda em fragmentos florestais, criar barreiras ao deslocamento de algumas espécies da fauna e dar condições ao estabelecimento de espécimes oportunistas, algumas vezes exóticas e invasoras (BLANC *et al.*, 2016).

A abertura de uma rodovia não só cria um ambiente de dossel aberto e exposto a uma maior incidência de radiação solar e ventos, como também

modifica características topográficas, hidrológicas e de permeabilidade do solo, fatores que alteram a distribuição de calor, umidade e sombra (VAN DER REE; SMITH; GRILLO, 2015). A distância e magnitude desses eventos são variáveis, dependendo do contraste do habitat e estrutura de borda (SISSON, 2017).

Essas alterações microclimáticas impactam diretamente o uso do ambiente pela fauna. O ambiente térmico é um recurso essencial a sobrevivência de várias espécies de vertebrados, já que a temperatura não só afeta processos fisiológicos, como também pode impactar na seleção de habitat, distribuição das espécies e estrutura de comunidades (SISSON, 2017). Por exemplo, répteis são animais ectotérmicos e, portanto, dependem da temperatura do ambiente para regular sua temperatura corpórea e assim otimizar o seu desempenho fisiológico. Desta forma, muitas espécies deste grupo taxonômico dependem do comportamento de termorregulação para manter uma temperatura corpórea ideal para manter suas funções metabólicas (SISSON, 2017). Excluindo fatores endógenos, a habilidade de termorregulação de um ectotérmico é limitada fundamentalmente por clima e heterogeneidade de habitat, a qual pode ser um recurso limitado tanto em ambientes sombreados quanto ambientes muito abertos, onde as condições térmicas são uniformes. Em ambientes sombreados, alguns répteis mostram preferências por ambientes alterados, incluindo bordas florestais e o entorno de rodovias, o que pode estar ligado a busca pelo recurso de heterogeneidade térmica (SISSON, 2017; GONÇALVES *et al.*, 2018).

Além disso, as estradas, entre outras formas de fragmentação de habitat, provavelmente representarão desafios adicionais para a biodiversidade em face das mudanças climáticas. Isto pode ocorrer uma vez que a vida silvestre tem sido pressionada a se deslocar para encontrar condições climáticas mais favoráveis e nesse deslocamento podem ser empurradas para áreas de rodovias (SISSON, 2017).

Já na fase de uso e manutenção de uma rodovia, as principais causas de perturbação de habitat estão ligadas aos diferentes tipos de poluição: química, luminosa e sonora (SEILER, 2001). Poluentes químicos, que podem causar prejuízos fisiológicos para diversas espécies da fauna e flora, não só se acumulam em áreas próximas da pista, como também podem ser dispersados por via aérea ou corpos hídricos por diversos metros (SEILER, 2001). A

dimensão espacial e biológica desses impactos envolve múltiplos fatores é extremamente difícil de ser calculada.

Embora existam poucos estudos sobre o estresse sonoro em animais, estudos com seres humanos mostram que, apesar dos ruídos de tráfego muitas vezes não causarem efeitos imediatos, a exposição de longo prazo pode induzir a estresse psicológico e eventuais distúrbios emocionais (SEILER, 2001). Para animais, sabe-se apenas que diversas espécies costumam evitar o ruído causado por rodovias por associá-lo a presença humana ou então por prejudicarem a comunicação entre os indivíduos (SEILER, 2001). Em aves, o barulho do tráfego pode influenciar a densidade de indivíduos reproduzindo tanto em ambientes florestais como em campos abertos perto de áreas de rodovias (XIE *et al.*, 2021). Aves que vivem em ambientes perturbados alocam mais energia para a vocalização, aumentando a frequência do canto ou alterando o padrão de comportamento para se ajustar as paisagens sonoras de fundo (XIE *et al.*, 2021).

Já as perturbações causadas pela poluição luminosa são hoje as menos estudadas na ecologia de estradas. Alguns estudos já apontam para impactos na regulação do crescimento de plantas, na perturbação de reprodução, forrageio e outros comportamentos de animais noturnos, principalmente anfíbios, morcegos e algumas espécies de aves e invertebrados (SEILER, 2001).

3.2.2 Corredores de Dispersão e Atração de Espécies

O efeito de borda, causado pela abertura de uma rodovia, atua de maneira diferente nas espécies. Ao mesmo tempo em que ele se mostra extremamente negativo e hostil para as espécies de área central de fragmentos, pode ser bastante atrativo e oferecer recursos importantes (como abrigo, alimento, sítios de reprodução e facilidade de dispersão) para espécies mais generalistas e que se adaptem bem a estas condições (SEILER, 2001; VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015). Quando ambientes favoráveis são criados com a implantação de uma rodovia, animais são atraídos para eles (SEILER, 2001). Podemos assim ter uma linha tênue entre um habitat favorável e uma armadilha ecológica, uma vez que os animais ficam mais susceptíveis aos atropelamentos e outros impactos causados pelas rodovias.

Por questões de segurança viária, muitas vezes a vegetação no entorno de rodovias é modificada por concessionárias e órgãos reguladores do transporte, sendo substituída por espécies rasteiras e arbustivas ao longo da extensão da pista (FORMAN *et al.*, 2003). Esta região pode formar corredores de dispersão e deslocamento para a fauna, principalmente para espécies generalistas e pioneiras (SEILER, 2001). Estradas menores, geralmente não pavimentadas e com menor fluxo de veículos, também costumam ser utilizadas como “trilhas” de deslocamento para grandes mamíferos, o que pode aumentar a susceptibilidade destes animais ao atropelamento (SEILER, 2001).

Outras modificações comuns aos ambientes de beira de estrada incluem a formação de poças na forma de valas de drenagem ou tanques de retenção de águas pluviais (FORMAN *et al.*, 2003). Esses locais frequentemente atraem animais para as bordas da rodovia, e acabam se tornando armadilhas ecológicas por aumentarem a exposição dos animais ao atropelamento, predação, caça e poluição (SISSON, 2017).

3.2.3 Efeito Barreira

Chama-se efeito barreira o evento onde a estrada corta o ambiente de vida de uma espécie e se torna um obstáculo intransponível, impedindo tanto o acesso a recursos (alimentares, hídricos e abrigos) quanto ao fluxo gênico, que é essencial para a manutenção da diversidade e aumento das chances de sobrevivência da espécie. Além de impactar a sobrevivência de indivíduos, este efeito pode alterar a estrutura espacial, demografia, densidade e genética das populações, exercendo pressão suficiente para desencadear diminuições ou mesmo extinções populacionais (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015). O efeito barreira pode ser observado afetando tanto movimentações diárias dos indivíduos para acesso a recursos quanto migrações sazonais de populações ou eventos de dispersão eventuais (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015).

Entre os possíveis fatores que causam o efeito barreira estão a percepção visual de uma maior distância a ser percorrida ou a incapacidade dos animais de enxergarem recursos do lado oposto de estradas mais largas (FAHRIG e RYTWINSKI, 2009). Estudos de avaliação do efeito barreira de estradas sobre os mamíferos no hemisfério norte mostram que pequenos

roedores, veados e javalis diminuem suas tentativas de travessia em áreas onde a estrada é mais larga e tem maior tráfego de veículos (SECCO et al. 2022). Secco e colaboradores também observaram uma diminuição no atropelamento de ouriços-cacheiros (*Coendou spinosus*) após a duplicação de rodovias no estado do Rio de Janeiro. Os autores atribuíram este fato à uma reação comportamental da espécie, de evitar a travessia de estradas mais largas e maior fluxo de veículos.

3.2.4 Atropelamento e mortalidade de fauna

As colisões veiculares podem ser consideradas atualmente como a principal causa antrópica de mortalidade direta de fauna, ultrapassando inclusive a caça (SEILER, 2001; HILL; DEVAULT; BELANT, 2019). Estimativas do Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas (CBBE) sugerem que 470 milhões de animais sejam atropelados por ano nas rodovias brasileiras (BAGER, 2018).

Além dos danos causados à saúde e a vida de indivíduos de muitas espécies (GARRIGA et al., 2017), o atropelamento de animais em rodovias pode ter diversos impactos na ecologia dessas populações. Dentre tais impactos, destacam-se as mudanças na densidade e estrutura populacional causada pela remoção de indivíduos saudáveis e jovens em dispersão e as alterações na distribuição e persistência das espécies devido ao efeito barreira e de afugentamento (TEIXEIRA et al., 2013).

O impacto das rodovias na fauna silvestre tem sido registrado em todo o planeta, embora estudos que incluem mais de um grupo taxonômico têm revelado que as espécies e categorias taxonômicas não são afetadas de maneiras equivalentes (GARRIGA et al., 2017). Entre os vertebrados, a herpetofauna pode ser particularmente vulnerável, uma vez que anfíbios e répteis são organismos que apresentam movimentos mais lentos (SISSON, 2017), utilizam o asfalto da rodovia como superfície para aquecimento (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015) e necessitam acessar sazonalmente múltiplos habitats para completar seus ciclos de vida (SISSON, 2017; GARRIGA et al., 2017).

Anfíbios aparecem em diversos estudos como sendo a classe de vertebrados mais afetada pelos atropelamentos (GARRIGA et al., 2017), porém

as implicações da perda desses indivíduos num contexto populacional e ecológico ainda não são discutidas com profundidade na literatura. Garriga e colaboradores (2017) também identificaram picos de mortalidade de anfíbios em estações reprodutivas e eventos migratórios. Existem indícios de que anfíbios sejam negligenciados em monitoramentos de atropelamento de fauna também devido a sua baixa taxa de detecção, o que pode causar uma subestimação nas taxas de atropelamento apresentadas (GLISTA; DEVAULT; DEWWODY, 2007; SILVA, 2021).

A mortalidade de répteis em rodovias está negativamente correlacionada a precipitação e positivamente correlacionada a temperatura e irradiação solar (GARRIGA *et al.*, 2017). Quando considerados apenas aspectos naturais para populações de serpentes, a mortalidade nas estradas é frequentemente correlacionada no hemisfério Norte com migrações associadas a entrada e saída de períodos de hibernação e aos picos de movimentação de machos na estação reprodutiva ou em fêmeas durante o período de postura dos ovos devido à necessidade de manter a temperatura mais alta e à dificuldade de deslocamento causada pelo peso gestacional (GARRIGA *et al.*, 2017). Em alguns casos, os juvenis podem apresentar uma alta mortalidade devido à sua maior abundância relativa ou tendências maiores de dispersão (SISSON, 2017). Porém, somam-se a estes fatores naturais o tamanho reduzido da maioria das espécies, o que dificulta sua visualização pelo motorista, e o preconceito histórico e cultural dos seres humanos em relação ao grupo, principalmente em relação as serpentes (SISSON, 2017). Teixeira e colaboradores (2013) apontam um potencial fator de intencionalidade no atropelamento de serpentes quando comparados com grupos de animais considerados mais carismáticos (como as aves).

Para a avifauna, as estradas impactam negativamente tanto a riqueza de espécies quanto o tamanho populacional (XIE *et al.*, 2021). Os atropelamentos de aves são positivamente correlacionados com a temperatura e negativamente relacionados a umidade e radiação solar (GARRIGA *et al.*, 2017). Para aves, os fatores diretos de declínio populacional incluem a perda e a degradação de habitat, a mortalidade por colisão-veicular, a poluição e o envenenamento. Efeitos indiretos podem causar efeitos prejudiciais ainda mais substanciais do que os efeitos diretos e incluem a perturbação por ruídos do

tráfego e luzes artificiais, barreiras físicas ao movimento e o efeito de borda (XIE *et al.*, 2021).

Aves são também um grupo com taxas de mortalidade subestimadas em estudos de monitoramento feito em veículos motorizados (TEIXEIRA *et al.*, 2013). Isto se dá por alguns fatores como seu tamanho reduzido, que torna mais difícil sua visualização; retirada da carcaça por animais carniceiros, principalmente rapinantes; e fragilidade da estrutura da carcaça, principalmente em rodovias com alto fluxo de veículos (TEIXEIRA *et al.*, 2013).

Já entre os mamíferos, o número de atropelamentos parece estar positivamente relacionado a temperatura (GARRIGA *et al.*, 2017). Estes resultados podem estar relacionados ao padrão de atividade do grupo, que usualmente evita a movimentação em temperaturas muito alta ou muito baixas (GARRIGA *et al.*, 2017).

Evitar as colisões veiculares com fauna (CVFs) é necessário não apenas para a conservação da biodiversidade, mas também para a segurança dos usuários da rodovia, uma vez que os acidentes podem causar não só danos ecológicos, mas também danos materiais, psicológicos, físicos e até a morte humana (SEILER, 2001; SAITO e BALESTIEIRI, 2021). Segundo o Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas – CBEE (2021), 1.602 pessoas morrem anualmente vítimas de acidentes com animais nas rodovias brasileiras. Além disso, as CVFs causam impactos consideráveis no bem-estar animal, já que muitos animais que são atingidos por veículos não são imediatamente mortos, podendo levar horas e dias para morrer devido as lesões ou choque (SEILER, 2001).

Sendo assim, mitigar os atropelamentos de fauna pode ser visto como um problema de saúde única, tendo como pilares a saúde humana, o bem-estar animal e a conservação ambiental (VAN DER GRIFT *et al.*, 2013).

3.3 ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DO ATROPELAMENTO DE FAUNA EM RODOVIAS

A necessidade, definição e avaliação da efetividade de uma medida de mitigação para atropelamento de fauna em sua maioria são específicas para a rodovias e espécies alvo escolhidas. Mesmo em regiões com características

ambientais bastante similares, cada rodovia existente pode ter um conjunto de formas e covariáveis ambientais que influenciam seu uso pela fauna. Seja com o objetivo de melhorar a falta de conectividade da paisagem, seja para evitar ferimento e morte de animais e seres humanos nas rodovias, as medidas de mitigação devem ser sugeridas e implementadas apenas após uma criteriosa análise dos fatores locais para a situação específica.

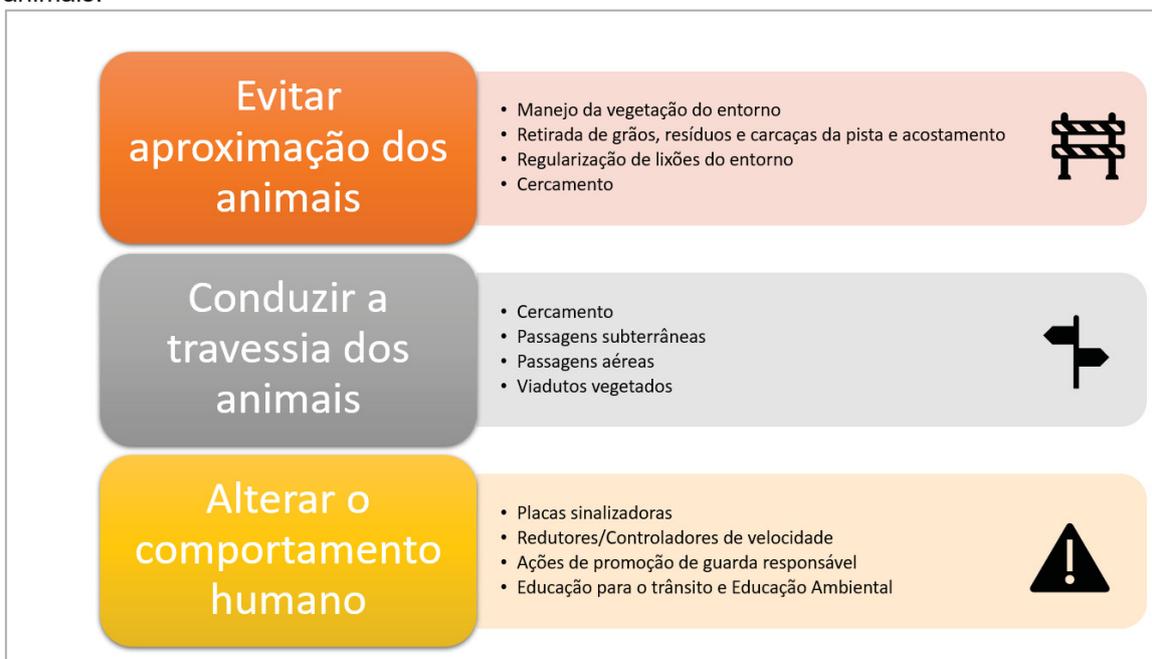
Segundo Saito e Balestieiri (2021), para que se tenha o maior grau de certeza na tomada de decisão, deve-se primeiro ter clareza sobre “Por que Mitigar?”, “O que mitigar?” e “Como mitigar?”. Para responder estas perguntas, as referidas autoras sugerem que sejam realizados estudos criteriosos em relação à:

- definição do grupo-alvo de espécies que serão consideradas, com levantamento dos atropelamentos ao longo da rodovia e análise da agregação dos eventos;
- levantamento e monitoramento da fauna na área de influência da rodovia e identificação dos locais de travessia dos grupos-alvos da fauna;
- levantamento dos acidentes com vítimas humanas envolvendo colisões com fauna;
- análise da paisagem e identificação de corredores ecológicos;
- análise hidrológica da rodovia;
- e cadastro de obras de arte correntes (OAC) e obras de arte especiais (OAE) que possam ser utilizadas como passagens de fauna.

Desta forma, os estudos mais comuns e confiáveis para serem utilizados como controle são aqueles realizados com monitoramentos de atropelamento de fauna antes e depois da implantação das medidas de mitigação, embora mesmo estes estudos podem ser de eficiência relativa devido à ocorrência de fatores externos, como a disparidade entre o tempo das construções e o tempo de financiamento do projeto de pesquisa (SISSON, 2017).

As medidas de mitigação do atropelamento de fauna podem ser divididas em duas grandes estratégias, sendo a primeira referente às medidas que visem modificar o comportamento dos animais em relação à pista e a segunda referente às medidas que visem modificar o comportamento dos usuários, como a redução de velocidade e o aumento da atenção ao dirigir (ABRA *et al.*, 2019). Muitas das colisões veiculares com fauna não são propositais e em sua maioria o motorista tem baixo tempo e possibilidades de reação, o que torna o segundo grupo de medidas muito menos eficiente em relação ao primeiro (SAITO e BALESTIERI, 2021). Uma síntese das principais medidas utilizadas na mitigação dos atropelamentos de fauna pode ser observada na FIGURA 5.

FIGURA 5 – Principais medidas que podem ser aplicadas para a mitigação do atropelamento de animais.



Medidas de manejo de flora que visem desestimular o uso e a aproximação de animais da pista e faixa de entorno, apesar de exigirem uma manutenção frequente, são de baixo custo e não só tem se mostrado eficientes para este objetivo como também tornam a rodovia mais segura para pedestres e ciclistas (SAITO e BALESTIERI, 2021). Figuram entre essas medidas a poda da vegetação e uso de vegetação rasteira e de baixa palatabilidade na faixa de domínio; a retirada de plantas frutíferas da faixa de domínio; e o plantio de espécies adequadas em regiões estratégicas para atrair a fauna para locais

seguros. O manejo da vegetação também pode auxiliar na absorção de ruídos e iluminação na beira de estradas e elevar a altura de voo de aves, minimizando as chances de colisão (FREITAS *et al.*, 2013; SAITO e BALESTIERI, 2021).

A realização de limpeza das rodovias, retirando restos de alimentos, grãos e mesmo carcaças de animais atropelados evita a atração de outros animais para a pista e, conseqüentemente, o seu atropelamento (SAITO e BALESTIEIRI 2021). Além da limpeza, outras medidas importantes que envolvem a redução de colisões por atração da fauna silvestre trazidas pelos autores são: a regularização de lixões próximos à rodovia, o transporte que evite o derramamento de grãos, a conscientização e a mudança do comportamento de usuários da rodovia e integrantes das comunidades lindeiras, que tendem a descartar resíduos às margens da pista.

Uma intervenção para a travessia segura da fauna é a implantação de viadutos vegetados, os quais beneficiam uma ampla gama de animais. Apesar disso, devido ao custo elevado, devem ser implantados apenas após o descarte de todas as demais alternativas (SAITO e BALESTIEIRI, 2021). As medidas que envolvem mudanças ou incorporações de estruturas a pista de rodagem devem ser sempre muito bem planejadas e ter a sua efetividade monitorada para evitar uma potencialização do problema. A efetividade de uma passagem de fauna, por exemplo, pode ser avaliada com base na evidência da travessia completa entre uma entrada e a entrada do lado oposto da rodovia (SISSON, 2017). Outro importante critério de sucesso é a integridade do design, que pode ser avaliado pela adequação para o uso pelas espécies-alvo, motivação para as espécies-alvos utilizarem a estrutura, colocação adequada em relação à paisagem e integração com cercas de exclusão (ABRA *et al.*, 2019). Além disso, deve ser observado se predadores não poderão utilizar a passagem para caçar a espécie-alvo, o que cria um potencial para a formação de armadilhas (SAITO e BALESTIEIRI, 2021).

Cabe ressaltar que apenas as passagens de fauna, sem as cercas bloqueadoras e condutoras para guiar os animais, não reduzem as colisões veiculares com fauna. As cercas de exclusão são implementadas como uma forma de diminuição ou eliminação dos atropelamentos de fauna, uma vez que impedem o acesso dos animais à rodovia. Quando estão associadas às passagens de fauna, podem ser utilizadas para direcionar os animais para essas

estruturas (SISSON, 2017). Para mamíferos de grande porte, a combinação de cercamentos com passagens de fauna pode gerar uma redução de mais de 80% nos atropelamentos (SAITO e BALESTIEIRI, 2021). Contudo, antes do planejamento, deve-se conhecer muito bem a área de vida de uma população, para entender se a estrutura será uma proteção ou uma barreira. Se as áreas de vida excedem a extensão linear da mitigação, isso sugere que a extensão da cerca é inadequada. Além disso, se as áreas de vida mostrarem sobreposição considerável com a faixa de domínio da rodovia, então a implementação e cercas pode excluir os indivíduos de habitats e recursos preferidos (SISSON, 2017).

Outro fator relevante em relação às cercas é a adequação para a espécie-alvo da mitigação, considerando o tamanho da malha da cerca, a altura da estrutura e a profundidade que ela é enterrada. Woltz, Gibbs e Ducevc (2008) indicam que barreiras entre 0,6 e 0,9m de altura são capazes de prevenir que a maior parte das espécies tenha acesso às rodovias. É extremamente necessário que estas estruturas sejam constantemente verificadas e passem periodicamente por serviços de manutenção, uma vez que costumam sofrer alterações devido a inundações, erosão, corrosão em áreas de solos ácidos, crescimento excessivo da vegetação, e quedas de árvores e galhos. A efetividade das cercas pode ser avaliada em múltiplos critérios biológicos relevantes, incluindo a frequência ou proposição de animais ultrapassando a cerca, a redução dos atropelamentos e a observação dos animais sendo direcionados para as passagens (SISSON, 2017).

Conforme tais medidas vão sendo cada vez mais integradas às infraestruturas rodoviárias, a disponibilidade de boas práticas de manejo para condução de um design efetivo se torna extremamente importante (SISSON, 2017). Apesar de existirem estruturas de travessia que ofertem um bom potencial de mitigação do atropelamento de fauna em rodovias, ainda existe um alto percentual de implantação de estruturas ineficientes (VAN DER GRIFT *et al.*, 2013). Os principais fatores que levam às falhas são a inadequação de localização; falhas no projeto arquitetônico; e comportamento das espécies-alvo (WOLTZ; GIBBS; DUCEVC, 2008).

A instalação e os custos de medidas ineficazes, além de poder potencializar o impacto dos atropelamentos e desperdiçar recursos financeiros (muitas vezes públicos), prejudica o apoio da sociedade em geral para futuras

medidas de mitigação de impactos à fauna silvestre (VAN DER GRIFT *et al.*, 2013). Com estas considerações em mente, a sugestão de medidas mitigatórias em áreas com amostragens baixas ou superficiais deve ser tratada com cuidado e responsabilidade, uma vez que os padrões da paisagem podem estar desempenhando um grande papel na movimentação da fauna naquele local e qualquer alteração pode deslocar os pontos críticos de atropelamentos (TEIXEIRA *et al.*, 2013).

Do ponto de vista das ações educativas, diversos temas podem ser trabalhados com o objetivo de minimizar as colisões com fauna. Saito e Balestieri (2021) destacam:

- campanhas de segurança do trânsito, informando trechos e horários com maior probabilidade de acidentes, conduta adequada do motorista e procedimentos a serem adotados ao avistar um animal ferido na pista ou próximo a ela;
- ações de educação ambiental sobre a importância da conservação dos animais e desmistificação de animais considerados perigosos ou menos carismáticos para evitar o atropelamento intencional;
- informações sobre descarte e acondicionamento adequado de resíduos sólidos.

Campanhas de guarda responsável e controle populacional de animais domésticos também são medidas que podem ser aplicadas com o objetivo de diminuir o atropelamento da fauna na rodovia. Nesse aspecto, como veterinários devemos ressaltar que o abandono de animais em rodovias é crime (BRASIL, 2020). Além disso, animais domésticos de grande porte como cavalos, bois e jumentos podem se envolver em acidentes graves e com riscos econômicos e físicos graves aos usuários, podendo os proprietários responder criminalmente por eles. Neste ponto, deve-se lembrar que as medidas educativas, por serem de longo prazo e de difícil avaliação e quantificação de sua efetividade, devem estar inseridas dentro de programas estruturados e conectadas com outras medidas de efeito mais imediato.

3. 4 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Como pode ser observado, as rodovias causam diversas alterações ambientais já na sua implantação e ao longo de toda sua extensão e existência (SEILER, 2001). Entre elas estão os as colisões entre veículos e animais, que atualmente são consideradas como a principal causa antrópica direta de mortalidade de animais silvestre (SEILER, 2001; HILL; DEVAULT; BELANT, 2019). No Brasil, estimativas sugerem que a cada 15 minutos um animal é atropelado em rodovias (BAGER, 2018).

Os padrões de atropelamento de fauna têm diversas variações espaciais e temporais definidas por características regionais e da história de vida da espécie envolvida (CANAL *et al.*, 2018). Considerando essas variações e o fato de que a instalação de medidas de mitigação ao longo da rodovia na maioria das vezes se torna inviável logística e economicamente, instituições de pesquisa e governamentais devem promover esforços para determinar as áreas e espécies prioritárias ao recebimento de mitigação, bem como os padrões espaço-temporal dos eventos (TEIXEIRA *et al.*, 2013). Neste sentido, são realizados monitoramentos sistematizados de atropelamentos de animais em rodovias, onde as carcaças encontradas são identificadas e georreferenciadas para uma posterior análise dos padrões ecológicos, espaciais e temporais dos atropelamentos de animais na região estudada (BAGER, 2018). Apesar da importância reconhecida dos estudos de monitoramento de atropelamento, deve-se ter em mente que a quantidade de animais atropelados registrada é subestimada, uma vez que as carcaças nem sempre são detectáveis e que os animais atingidos pelos carros podem morrer afastados da pista, não sendo detectados pelos métodos convencionais de monitoramento de atropelamento de fauna. Estudos indicam que o número de animais que possivelmente morrem fora da pista pode chegar a 30% do total dos animais atingidos (TEIXEIRA *et al.*, 2013).

Reconhecer as espécies mais atingidas, os trechos de maior probabilidade de colisão e os padrões temporais dos atropelamentos é o passo inicial para entender os impactos de uma estrada na biodiversidade do local onde está inserida. Neste sentido, para entender o impacto e os padrões do atropelamento de fauna no litoral paranaense, foi realizado durante um ano

monitoramento semanal dos atropelamentos em duas das principais rodovias da região. Os resultados encontrados estão relatados no capítulo a seguir “Small vertebrates’ roadkill on two roads in the southern region of the Atlantic Forest, Paraná Coast – Brazil”.

4. ARTIGO 1 – SMALL VERTEBRATES' ROADKILL ON TWO ROADS IN THE SOUTHERN REGION OF THE ATLANTIC FOREST, PARANÁ COAST – BRAZIL.⁴

Izabel Carolina Raittz Cavallet^{1,2}, Luisa Maria Diele-Viegas³, Paula Bortoli Mariotto^{4,2}, Rogério Ribas Lange¹

¹ Graduate Program in Veterinary Sciences, Federal University of Paraná, Curitiba, Paraná, Brazil

² Environment and Health Department, Federal Institute of Paraná, Paranaguá, Paraná, Brazil

³ Integrative Biology Laboratory, Federal University of Alagoas, Maceió, Alagoas, Brazil

⁴ Health Department, Tuiuti University of Paraná, Curitiba, Paraná, Brazil

4.1 ABSTRACT

Being a significant global biodiversity hotspot, the Atlantic Forest has been drastically reduced by human activities. Among the anthropic activities that most affect the biodiversity of this ecosystem is the construction and operation of roads and highways. Between harmful effects of these ventures, wildlife roadkill is currently considered one of the biggest causes of mortality of wild vertebrates. This study evaluated patterns of small vertebrates' roadkill on two roads in the coastal region of the largest continuous remnant of the Brazilian Atlantic Forest. For twelve months, we carry out weekly samples with a motor vehicle at a constant speed of 40 km/h to search for carcasses along the roads. All carcasses found were georeferenced and identified to the lowest possible taxonomic level. Then, using Siriema v.2.0 software, we analyzed the events' distribution and spatial patterns to identify the hotspots of wildlife roadkill. In 43 sampling days, 209 road-killed animals were registered (average roadkill rate of 0.105 and 0.111 animals/kilometer/day for PR-407 e PR-508, respectively). Extrapolating the rates found, we estimate that about 1,773 animals can be run over every year on these roads. The most affected groups were birds (33.01%) and amphibians (30.62%), followed by reptiles (19.13%) and mammals (17.33%). Warmer months had the highest roadkill rates. We found two critical roadkill hotspots for the PR-407 (kilometer 11.7 to 12.5 and kilometer 14.7 to 16.7). For the PR-508, we found a critical point of 5.2 km (kilometer 5 to 10.2). As a short-term measure, we recommend installing velocity reducers in the identified stretches and implementing environmental education campaigns with residents and tourists, especially during the summer months, aiming to mitigate the roadkill on both roads. However, due to the importance and environmental fragility of the area, we emphasize the need for road ecology and local wildlife population viability studies to be carried out in the medium and long term.

Keywords: roadkill; wildlife loss; Atlantic Forest; Paraná coast.

⁴ Artigo submetido para a revista Brazilian Journal of Biology (<https://www.scielo.br/j/bjb/>) – Em fase de correções sugeridas pelos revisores.

4.2 RESUMO

Sendo um importante *hotspot* de biodiversidade global, a Mata Atlântica tem sido drasticamente reduzida pelas atividades humanas. Entre as atividades antrópicas que mais afetam a biodiversidade desse ecossistema está a construção e operação de estradas e rodovias. Considerado um dos efeitos mais nocivos desses empreendimentos, o atropelamento de animais silvestres é atualmente uma das maiores causas de mortalidade de vertebrados silvestres. Neste estudo, avaliamos os padrões de atropelamentos de pequenos vertebrados em duas estradas na região litorânea do maior remanescente contínuo de Mata Atlântica brasileira. Durante doze meses realizamos coletas semanais com um veículo motorizado a uma velocidade constante de 40 km/h para busca de carcaças ao longo das estradas. Todas as carcaças encontradas foram georreferenciadas e identificadas até o menor nível taxonômico possível. Em seguida, usando o software Siriema v.2.0, analisamos a distribuição e os padrões espaciais dos eventos para identificar pontos de atropelamento de animais silvestres. Em um total de 43 dias de amostragem, foram registrados 209 animais atropelados (taxa média de atropelamentos de 0,105 e 0,111 animais/quilômetro/dia para PR-407 e PR-508 respectivamente). Extrapolando os índices encontrados, podemos estimar que cerca de 1.773 animais podem ser atropelados todos os anos nessas estradas. Os grupos mais afetados foram aves (33,01%) e anfíbios (30,62%), seguidos de répteis (19,13%) e mamíferos (17,33%). Os meses mais quentes tiveram as maiores taxas de atropelamentos. Durante o período encontramos dois pontos críticos de atropelamentos para a rodovia PR-407 (quilômetro 11,7 a 12,5 e quilômetro 14,7 a 16,7). Para a rodovia PR-508, encontramos um ponto crítico de 5,2 km (quilômetro 5 a 10,2). Como medida de curto prazo, recomendamos a instalação de redutores de velocidade nos trechos identificados e a implementação de campanhas de educação ambiental com moradores e turistas, principalmente nos meses de verão, visando mitigar o atropelamento em ambas as vias. No entanto, devido à importância e fragilidade ambiental da área, ressaltamos a necessidade de estudos de ecologia viária e de viabilidade populacional da fauna local a médio e longo prazo.

Palavras-chave: ecologia de estradas; atropelamento de fauna; Mata Atlântica; Litoral do Paraná.

4.3 INTRODUCTION

The Atlantic Forest is the second-largest rainforest in Latin America, covering much of the Brazilian Coast (RIBEIRO *et al.*, 2011; MARQUES *et al.*, 2021). Its extension encompasses heterogeneous environments such as restingas, mangroves, and high-altitude forests. It is home to around 20,000 species of plants, 512 amphibians, 306 reptiles, 861 birds, and 321 mammals (RIBEIRO *et al.*, 2011; GALETTI *et al.*, 2021) and is considered one of the top five global biodiversity hotspots. Reaching about 12% of the almost 1.5 million

square kilometers of its original coverage in 2009 (RIBEIRO *et al.*, 2011; MARQUES *et al.*, 2021), it is mainly formed by 245,173 small fragments of secondary forests, most (83.4%) with less than fifty hectares (RIBEIRO *et al.*, 2011; CARLUCCI; MARCILIO-SILVA; TOREZAN, 2021). The largest of these fragments is in Serra do Mar Mountain range and covers São Paulo, Paraná, and Santa Catarina states. With over one million hectares, this fragment still conserves about 36.5% of its original cover and is vital for maintaining the Atlantic Forest's southern portion. Such importance led the area to be recognized as a Biosphere Reserve of the Atlantic Forest by UNESCO in 1994 (CARLUCCI; MARCILIO-SILVA; TOREZAN, 2021).

Millions of people depend on Atlantic Forest's ecosystem services, including water, food, and medicinal supply; control of floods, landslides, and erosions; and climate regulation (CARLUCCI; MARCILIO-SILVA; TOREZAN, 2021). Despite this importance, agriculture, urban development, and the expansion of linear enterprises such as roads and highways have been a significant threat to the Atlantic Forest (RIBEIRO *et al.*, 2011; CARLUCCI; MARCILIO-SILVA; TOREZAN, 2021). It is predicted that at least 25 million kilometers of roads will be built worldwide by 2050, representing a 60% increase in the global road network's length since 2010. About 90% of these new projects are planned for developing tropical nations (ALMGIR *et al.*, 2017) like Brazil, which nowadays already presents the fourth most extensive road network worldwide.

The implementation and operation of roads and highways have complex and varied impacts on biodiversity and the ecosystem (LEITE *et al.*, 2012; BAGER, 2018). Among these impacts, the following stand out: loss of habitat and environmental quality (noise and light disturbances, pollution, and microclimate changes), barrier effect and interruption of migration and dispersion, and direct mortality from vehicle collisions (GALETTI *et al.*, 2021). Such impacts are categorized as some of the biggest causes of vertebrate mortality globally (COELHO; KINDEL; COELHO, 2008; GONÇALVES *et al.*, 2018; HILL; DEVAULT; BELANT, 2019; SCHWARTZ; SHILLING; PERKINS, 2020). Estimates of vertebrate animals' mortality on Brazilian roads reach 475 million roadkill per year (BAGER, 2018). In addition to the direct impact on the individual, vehicle collisions can cause a faster population to decline than other indirect

impacts of humans on biodiversity, such as habitat fragmentation (GONÇALVES *et al.*, 2018; GALETTI *et al.*, 2021). Roadkill incidence can often exceed the natural mortality rate from the species, affecting its population density and sexual structure, causing an imbalance in ecosystems and their environmental services (COELHO; KINDEL; COELHO, 2008; SANTOS and ASCENSÃO, 2019).

Despite its severity, defining measures to combat wildlife roadkill is challenging since each area has specific characteristics and different collision patterns (CIRINO and FREITAS, 2018; GONÇALVES *et al.*, 2018; SCHWARTZ; SHILLING; PERKINS, 2020). Even though there is a legal obligation for highway concession holders to submit reports on the animal-vehicle collisions both at the federal level (Normative Instruction 13/2013 IBAMA) and the state level (Resolution 98/2016 CEMA-PR and State Law 19939/2019), the problems of sampling and underreporting official data are already available in the literature (BALČIAUSKAS *et al.*, 2020).

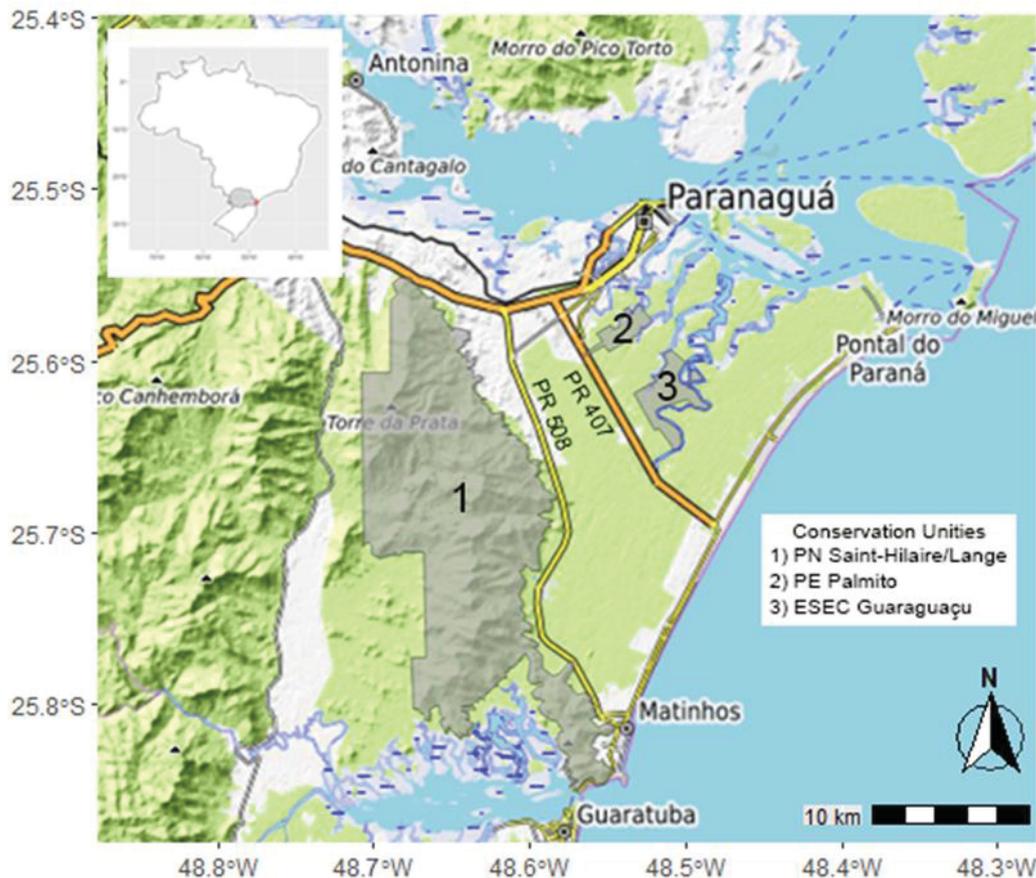
Identifying and analyzing patterns of wild animals' roadkill in each region is essential to support mitigating proposals, such as underpasses, air passages, fences, and speed reducers. Even without demographic knowledge of local populations, understanding which species are affected, how many animals die, and where they are dying on the road can be the first step in predicting the potential effects of vehicular collisions on wildlife populations (GONÇALVES *et al.*, 2018). Monitoring and intensive data collection can also provide valuable and relevant information regarding the species' behavior, population trends, life habits, and even biogeography (CIRINO and FREITAS, 2018; SCHWARTZ; SHILLING; PERKINS, 2020).

Thus, this study aimed to identify the main species of small vertebrates roadkilled, temporal and spatial variations, and possible aggregations (roadkill hotspots) in these events on two state roads located in the southern region of the Atlantic Forest Biosphere Reserve. Given the growing number of proposals for installations and expansion of road structures on the Paraná coast and their potential impacts on fauna, mitigation measures must be taken and improved based on studies considering the aspects of the animal-vehicle collisions where such roads will be implemented and expanded (COELHO; KINDEL; COELHO, 2008).

4.4 MATERIALS & METHODS

The Paraná coast comprises seven municipalities located at Atlantic Forest, in Serra do Mar Mountain range region. Two state roads on the coast of Paraná were selected (FIGURE 6). Both are in the Atlantic Forest Biome, between the Serra do Mar and the coastal municipalities of Matinhos and Pontal do Paraná. These roads are the primary road access to the Paraná coast in southern Brazil. Despite having distinct structural characteristics, the roads are located close to and parallel to each other and have a similar flow of vehicles, which increases during the summer season because of beach tourism.

FIGURE 6 – Location of the PR-407 e PR-508 roads and Conservation Units in their surroundings.



The 'Engenheiro Argus Thá Heyn' road, PR-407, covers the municipalities of Paranaguá and Pontal do Paraná, connecting BR-277 to PR-412 and is used as an access route to the resorts located in the southern portion of the Paraná coast. It is 18.85 km long (beginning at $-25^{\circ}33'38.65''$ $-48^{\circ}34'55.73''$ and ending at $-25^{\circ}41'50.17''$ $-48^{\circ}28'33.00''$), and it consists of two lanes with

shoulders on both sides. The maximum permitted speed is 90 km/h. Its topography is flat, with urbanized areas at the beginning and end of Paranaguá and Praia de Leste's beach resort in Pontal do Paraná. Its layout is around two fully environmental protected areas: the Palmito State Park (1,788.9ha) and the Guaraguaçu Ecological Station (1,188.8ha).

The 'Elísio Pereira Alves Filho' road, PR-508, covers the municipalities of Paranaguá and Matinhos and was built in 1987 to relieve the flow of the PR-407 road and shorten the distances between the BR-277 and the south coast of Paraná, mainly Caiobá and Guaratuba. It is 31.21km long (beginning at -25°34'5.52" -48°36'54.91" and ending at -25°49'0.75" -48°32'17.87") and has four lanes with no center bed or shoulders. The maximum permitted speed is 100 km/h. It borders the sustainable use protected area called Guaratuba Environmental Protection Area (total area: 199,447ha) and the Saint-Hilaire/Lange National Park, a fully protected conservation unit (total area: 25,126.5ha).

The vegetation in the region is characterized as Dense Ombrophyllous Forest, and the altitude is zero meters (sea level). According to Köppen, the climate is classified as Cfa - Humid subtropical zone without a dry season and with hot summer (ALVARES *et al.*, 2014), with annual temperature averages in the warmest month at 25°C and below 17°C in the coldest month and high rainfall, with annual averages between 1,700 e 3,000mm. It's important to emphasize that, as it shelters a large part of the remaining Atlantic Forest, the Paraná's coast has about 80% of its territory covered by environmental protected areas (PAULA; PIGOSSO; WROBLEWSKI, 2008).

Between April 2016 and March 2017, sampling efforts were carried out weekly. Monitoring was made by car at a constant speed of 40 km/h. We monitored 15 km of PR-407 road (towards beaches/BR-277) and 29.5 km of PR-508 road (towards BR-277/beaches). Kilometers one to three of PR-407 and the final kilometer of PR-508 were excluded from our analysis since they are inserted in the urban area of Paranaguá and Matinhos, respectively. Besides, this stretch of the PR-407 features a Jersey-type structure (concrete safety barrier dividing the lanes), which sets it apart from the rest of the road.

The efforts started at dawn as soon as the light allowed the carcasses to be seen on the track. The team consisted of a driver and two observers. There

was no variation in the observers and the functions performed by each team member on every sampling day to avoid any bias on the observer's capacity. The carcasses found on the carriageway and shoulder were georeferenced with GPS and identified by the team and specialists at the lowest possible taxonomic level. Photographic records of the carcasses and the surroundings of the landscape were also made. After registration, the carcasses were removed to the vegetation region beyond the shoulder to avoid recounting.

Roadkill rates (total, monthly, and by taxonomic class) were calculated for each of the evaluated roads. We obtained the rate by calculating the total number of carcasses divided by the number of kilometers travelled and by days of effort to compare roads with different mileage or between months with varying sampling efforts.

We used the Siriema v.2.0 software (COELHO *et al.*, 2014) to identify roadkill spatial aggregates (hotspots) on each road and for each taxonomic class. Firstly, the modified Ripley K-2D statistical test was used, which maintains the tracing's two-dimensionality to assess the non-randomness of the spatial distribution of events along a scale (TEIXEIRA *et al.*, 2013). We identified potential significant groupings in animal roadkill and on what scale they occur using an initial radius of 300 meters with a radius increase of 500 meters and 1000 simulations (95% confidence interval). Then, we implemented the 2D HotSpot Identification analysis to identify the main roadkill stretches (hotspots). We calculated hotspots with a 95% confidence interval, considering 1000 repetitions and a radius of 13.8 km for the PR-407 and 2 km for the PR-508. The variation between the radii for calculating hotspots on each road was based on previous Ripley K analyses showing the smallest radius at which the roadkill aggregations were significant for each road (for details of the methodology and analysis Siriema v2.0 software, see COELHO *et al.*, 2014). This procedure results in a roadkill aggregation intensity value for each road segment (100 meters). We considered that values for aggregation intensity above the upper confidence level of 95% indicate a significant roadkill hotspot.

4.5 RESULTS

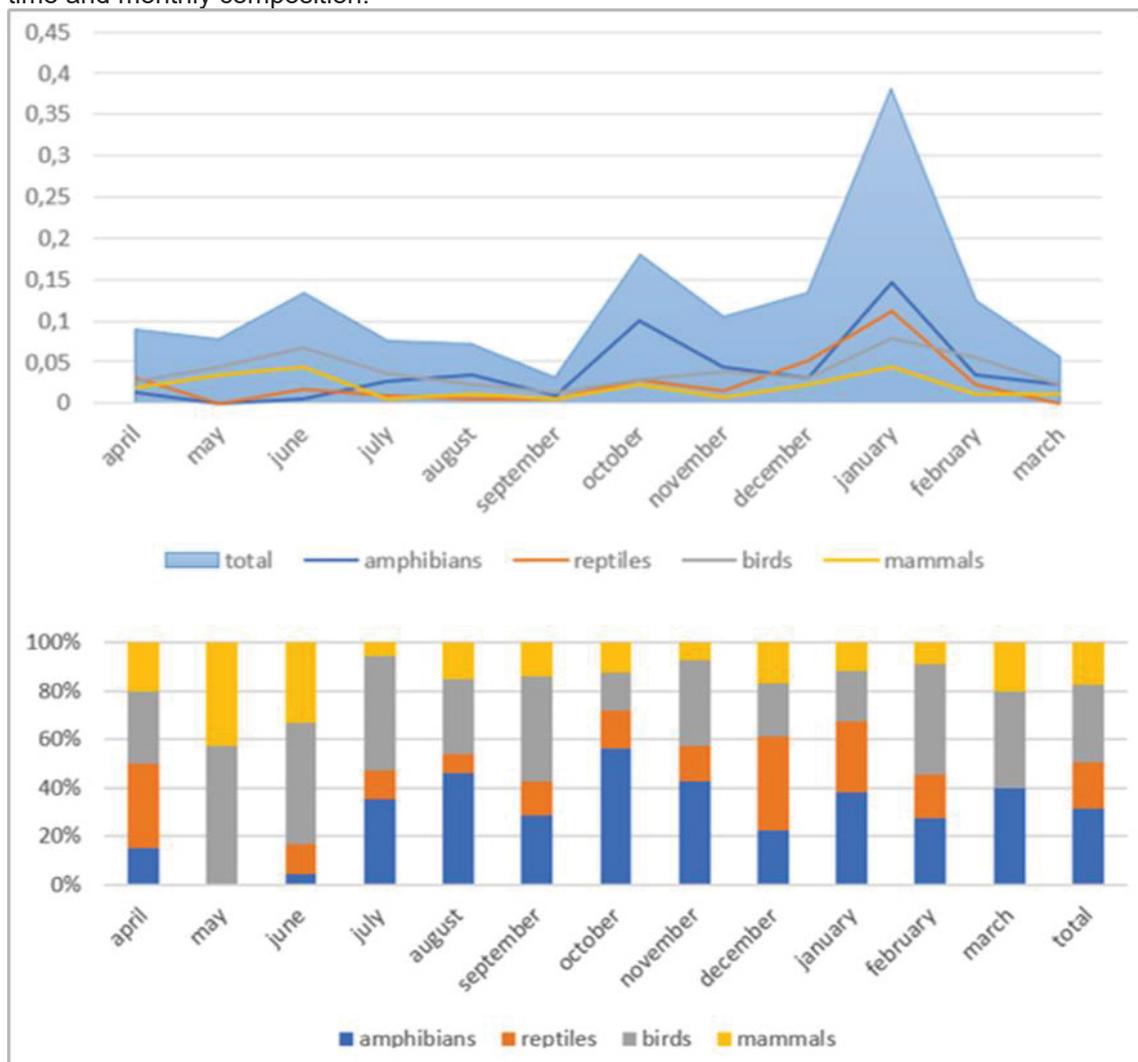
We covered 1,913.5 km (645 km on PR-407 and 1,268.5 km on PR-508), totaling 81 hours and 17 minutes of observation (26 hours and eight minutes on PR-407 and 55 hours and nine minutes on PR-508). During the 12 months of road monitoring, we have found 209 road killed animals, 68 of which were on PR-407 road (average roadkill rate of 0.105 animals/kilometer/day) and 141 on the PR-508 road (average roadkill rate of 0.111 animals/kilometer/day). With these calculated rates, we can estimate a minimum number of 1,773 animal-vehicle collisions on the roads studied per year, with about 577 animals on PR-407 and 1196 on PR-508. There was a variation in the roadkill rates on both roads throughout the year, with the highest rates in the warmer months.

Of the 209 animals found, most were birds (33.01%) and amphibians (30.62%), followed by reptiles (19.13%) and mammals (17.22%). However, this composition varied over the months of the year, as shown in FIGURE 7. In addition to the variation in the groups of vertebrates most affected, we also observed variation when comparing the two roads (TABLE 5).

TABLE 5 – Variation in the roadkill rates (carcass/km/day) between classes of vertebrates on the PR-407 and PR 508 highways.

Classes	Total	%	Roadkill rate	PR-407	%	Roadkill rate	PR-508	%	Roadkill rate
Birds	69	33.01	0.0360	27	39.70	0.0428	42	29.79	0.0338
Amphibians	64	30.62	0.0334	12	17.65	0.0190	52	36.88	0.0419
Reptiles	40	19.13	0.0209	19	27.95	0.0301	21	14.89	0.0169
Mammals	36	17.22	0.0188	10	14.70	0.0158	26	18.44	0.0209
TOTAL	209	100	0.1092	68	100	0.1079	141	100	0.1138

FIGURE 7 – Variation of roadkill rates (carcass/km/day) of different vertebrates' classes through time and monthly composition.



Due to the collision conditions, vehicle flow and length of stay on the road, animal carcasses showed different degrees of conservation. We identified the road killed animal to the lowest taxonomic level allowed by the carcass conservation status to compose the list of roads killed species. In this work, small vertebrates of four classes, 15 orders, 25 families, 33 genera, and 35 species were identified as being affected by roadkill on the studied roads (TABLE 6).

TABLE 6 – List of species road killed from April 2016 to March 2017 on the PR-407/PR-508 roads.

Class	Order	Family	Genera	Specie	PR-508	PR-407	Total				
Amphibia	Anura	No family identification				27	7	34			
		Bufonidae	No genera identification				1	-	1		
			Rhinella	No specie identification			4	1	5		
		Hylidae	No genera identification				2	-	2		
			Boana	No specie identification			2	-	2		
				B. faber (Wied-Neuwied, 1821)			2	-	2		
			Trachycephalus	T. mesophaeus (Hensel, 1867)			1	-	1		
Leptodactylidae	Leptodactylus	No specie identification			6	1	7				
		L. latrans (Steffen, 1815)			7	3	10				
Reptiles	Squamata	No family identification				2	4	6			
		Colubridae	Chironius	C. fuscus (Linnaeus, 1758)			-	2	2		
				C. laevicollis (Wied-Neuwied, 1824)			-	1	1		
		Spilotes			S. pullatus (Linnaeus, 1758)			3	-	3	
		No genera identification				-	1	1			
		Dipsadidae	Erythrolamprus	E. asculapii (Linnaeus, 1758)			-	2	2		
				E. miliaris (Linnaeus, 1758)			5	7	12		
				Helicops	H. carinicaudus (Wied-Nieuwied, 1825)			1	-	1	
		Oxyrhopus	O. clathratus (Duméril, Bibron & Duméril, 1854)				4	-	4		
			Teiidae	Salvator	S. merianae (Duméril & Bibron, 1839)			3	2	5	
		Viperidae	Botrops	B. jararaca (Wied-Neuwied, 1824)			2	-	2		
B. jararacussu (Lacerda, 1884)					1	-	1				
Birds	No order identification				17	5	22				
	Accipitriformes	Accipitridae	Rupornis	R. magnirostris (Gmelin, 1788)		-	1	1			
	Apodiformes	Trochilidae	Ramphodon	R. naevius (Dumont, 1818)		2	-	2			
	Caprimulgiformes	Caprimulgidae	No genera identification				-	1	1		
			Nyctidromus	N. albicollis (Gmelin, 1789)			1	-	1		
	Charadriiformes	Charadriidae	Vanellus	V. chilensis (Molina, 1782)			-	2	2		
	Gruiformes	Rallidae	Aramides	A. saracura (Spix, 1825)			1	3	4		
			Gallinula	G. galeata (Lichtenstein, 1818)			-	1	1		
	Strigiformes	Strigidae	Megascops	M. choliba (Vieillot, 1817)			6	3	9		
	Mammals	Rodentia	No family identification				9	5	14		
			Thraupidae	Tangara	T. coronatus (Vieillot, 1822)			1	-	1	
T. cyanocephala (Müller, 1776)						-	1	1			
Sicalis			T. seledon (Müller, 1776)			-	1	1			
			S. flaveola (Linnaeus, 1766)			1	1	2			
			Turdidae	Turdus	T. albicollis (Vieillot, 1818)			1	-	1	
T. amaurochalinus (Cabanis, 1850)						1	-	1			
Tyrannidae			Pitangus	P. sulphuratus (Linnaeus, 1766)			-	1	1		
				Tyrannus		T. melancholicus (Vieillot, 1819)			1	-	1
Tytiridae			No genera identification				1	-	1		
			Pachyrampus	No specie identification			-	1	1		
Trogoniformes	Trogonidae	Trogon	T. rufus (Gmelin, 1788)			-	1	1			
Mammals	Rodentia	No order identification				1	4	5			
		Carnivora	Canidae	Cerdocyon	C. thous (Linnaeus, 1766)			1	1	2	
			Mustelidae	Galictis	G. cuja (Molina, 1782)			1	-	1	
		Chiroptera	No family identification				1	-	1		
			Molossidae	No genera identification				2	1	3	
			Phyllostomidae	No genera identification				2	-	2	
		Cingulata	Dasypodidae	Dasypus		No specie identification			2	-	2
				No genera identification				1	-	1	
		Didelphimorphia	Didelphidae	Didelphis	No specie identification			1	-	1	
				D. aurita (Wied-Neuwied, 1826)			9	2	11		
				Marmosa	M. paraguayanus (Tate, 1931)			1	-	1	
Philander		P. frenatus (Olfers, 1818)			1	-	1				
Rodentia	No family identification				2	2	4				
	Erethizontidae	Sphiggurus	S. villosus (F. Cuvier, 1823)			1	-	1			

We identified significant clusters on a 13.8 km scale in the roadkill distribution at PR-407. From this radius, we found two significant groupings (95% confidence) along the 15 km analyzed: the stretch between kilometers 11.7 and 12.5 (800 meters) and the stretch between kilometers 14.7 to 15.7. For PR-508, we identified significant clusters on a 2 km scale in the distribution of roadkill. We found a significant grouping (95% confidence) from kilometer 5 to 10.2, involving 5.2 km of the 29.5 km analyzed. The stretches with the vertebrate's roadkill hotspots on both roads and their positions within the existing environmental protected areas in the region are shown in FIGURE 8.

FIGURE 8 – Hotspots of roadkill small vertebrates on PR-508 and PR-407 roads.



4.6 DISCUSSION

Smaller animals are more challenging to detect and do not cause financial losses and human traumas or deaths. So systematic studies are often the largest data source for medium-sized vertebrates and the only source for small

vertebrates, even compounding 90% of the country's roadkilled fauna (BAGER, 2018). Thus, the collection of scientific data, with appropriate methodology and carried out regularly, is more valuable for identifying the road's negative impacts and planning safety measures for both fauna and drivers. It is also important to point out that the data collected in a study on roadkilled fauna should always be underestimated since not all carcasses are found in the field efforts, either because humans or other animals remove them or because they are small and challenging to detect. Also, we can consider that not all run over animals ends up dying on the roadside. Some can be rescued and treated, and most of them can die off the road in forest environments where they cannot be found (CIRINO and FREITAS, 2018).

In the present study, roadkill rates for the PR-508 road were higher than PR-407. The difference in the total value of animals run over can be due to differences in the roads' speed and structural limits (number of lanes and the presence of shoulders). On two-lane roads with shoulders, such as the PR-407 road, the carcass persistence time is much shorter than on four-lane roads without a shoulder (SANTOS and ASCENÇÃO, 2019), as this is the case with the PR-508 road. Narrow roads with shoulders tend to have less vehicle flow and speed, encouraging scavengers to seek food on the road. This may partly explain the higher roadkill rates on PR-508.

The monthly rates of running over vertebrates in the PR-407 and PR-508 were 0.37 and 0.39 per month, respectively, and can be considered high compared to other biomes such as the Pantanal (0.18; FISHER, 1997) or Cerrado (0.19; PRADA, 2004). However, they are still lower than the rates obtained for the Atlantic Forest coastal region of Rio Grande do Sul (0.46; BALČIAUSKAS *et al.*, 2020). Considering the roadkill rates obtained, we can estimate that about 1815 animals can be hit by vehicular collisions a year on both roads.

Research on the roadkilled fauna may result from bias due to observer efficiency and carcass persistence time (SANTOS and ASCENÇÃO, 2019). There was no variation in the team over the 43 field efforts in this study to reduce the observer's efficiency bias. However, this work could not consider the carcass persistence index due to logistical limitations. Carcass persistence is influenced by body size, weather conditions, traffic volume, scavengers' presence on the roads, type of road, and carcass position on the road (SANTOS and ASCENÇÃO,

2019). We strongly suggest carcass persistence analysis be considered in future studies for these locations.

Both roads showed similar temporal variation patterns in roadkill rates, except for November (most significant increase in PR-407 rates) and March (greatest increase in PR-508 rates). The increase in roadkill in the year's hottest seasons is already widely discussed in the literature (HILL; DEVAULT; BELANT, 2019; SCHWARTZ; SHILLING; PERKINS, 2020) due to more significant animal activity resulting in higher rain incidence and higher temperatures in this period. Nevertheless, This difference is even more intense on the roads studied since both are intensively used as main access roads to the beaches of Paraná in the summer season months. Data such as these demonstrate that the temporary installation of speed reducers and the intensification of educational measures with residents and visitors during the summer season can be adopted as aids to reducing roadkill on the roads studied (GONÇALVES *et al.*, 2018).

In our study, amphibians were the most affected group in PR-508 and the third most affected group in PR-407. Amphibians are the most frequent roadkilled animals due to their activity patterns, population structure, and habitat preference (GLISTA; DEVAULT; DEWWODY, 2007). We found the highest run-over rates in the hottest months, with peaks in October and January, coinciding with the dispersion periods linked to these animals' reproduction (SILVA *et al.*, 2007). The three genera identified in our list of species (*Leptodactylus*, *Rhinella*, and *Boana*) have stable populations on the Paraná Coast and are categorized as 'of little concerning' in both State and National fauna lists (LEIVAS *et al.*, 2018). *Leptodactylus latrans* was the most affected species, which was the same result found by Silva and collaborators (2007) in studies of roadkilled fauna on the PR-340 in Antonina (also on the coast of Paraná).

Although no endangered species have been identified, it is essential to note that South America is the continent with the highest density and number of amphibian species, housing 35.9% of endangered species (COELHO *et al.*, 2012; LEIVAS *et al.*, 2018). The Atlantic Forest region located on the coast of Paraná is home to one of the richest Amphibian fauna in the state with many endemic species and a high potential for discovering new species (LEIVAS *et al.*, 2018). Being roadkill on roads is one of the most important causes of the population decline of amphibians and one of the greatest threats to species

(COELHO *et al.*, 2012), and, considering the limits of observation of the methodology applied in this study, we suggest further studies with monitoring animal-vehicle collisions on foot to identify the impact in this group better.

All the reptiles found run over in this study belong to Squamata's order. The most affected species were two snakes, *Erythrolamprus miliaris* and *Oxyrhopus clathratus* and a lizard *Salvator merianae*. These species were also among the most affected in a previous study in this area (SILVA *et al.*, 2007). About 87.5% of the reptiles found were snakes, which can be explained by the high diversity of this group in the region and their usual behavior in vehicles' presence. The most significant factors that lead reptiles to roadkill are the use of asphalt for thermoregulation (rooming), the slowness and low reaction of animals to vehicles, and the purposeful run over, especially in the case of snakes, the group most found in this study (SILVA *et al.*, 2007; GONÇALVES *et al.*, 2018).

During the study, the most found species was *E. miliaris* (30% of occurrences), a non-venomous, semi-aquatic species with nocturnal and diurnal activity patterns (CARVALHO; STRUETT; LEIVAS, 2019). Their diet comprises amphibians, mainly *L. latrans* (CARVALHO; STRUETT; LEIVAS, 2019), which may justify the hotspots' overlapping for the PR-508 road since both were the most run-over species. The hotspots found for reptiles in PR-407 and PR-508 are linked to human presence and water bodies near the roads. Variables related to the presence and distance of water bodies and traffic volume are important factors determining the run-over reptiles' spatial pattern (GLISTA; DEVAULT; DEWWODY, 2007; GONÇALVES *et al.*, 2018).

Birds were the group with the largest variety of species identified (which was also seen by COELHO; KINDEL; COELHO, 2008) and the largest number of run-over individuals, considering the two roads. It should be noticed that the monitored roads have a greater flow of vehicles in the daylight period, which is the most significant activity period for most of bird's species. Despite that, the most affected species was *Megascops choliba* (Tropical screech owl), probably due to their eating habits since they may be using carcasses on the road as a food source. Larger and carnivorous birds are more susceptible to being roadkill than smaller, omnivorous birds (HILL; DEVAULT; BELANT, 2019). Roads can be attractive to avifauna, as they provide access to food resources such as grains, prey, and carcasses. In the case of predators and providing food resources, the

roads, and their accessory structures, such as poles and signs, offer landing points that facilitate prey viewing and reduce foraging efforts (RAMOS *et al.*, 2011).

The roadkill peaks for this class occurred in May-June and December-January. This result was also found by Rosa and Bager (2012), who obtained rates in summer and autumn that were twice as in spring and winter. The authors linked these events to the dispersion of juveniles (summer) and increased vehicle flow (summer and autumn).

The mammalian roadkill rate was 0.018 run over animals per kilometer per day. These values are like those found in a previous study for the same roads (0.017; LEITE *et al.*, 2012). The group had the lowest and most constant roadkill rates throughout the study, which can be partially justified by removing the carcasses by the road concessionaire, as they have a larger size and can cause new accidents. We must also consider that the absence of evidence of species on roads is not evidence of the regions' lack of species (SCHWARTZ; SHILLING; PERKINS, 2020). Animals may not be seen on the roads for several factors, and we suggest studies with different methodologies to analyze this variation when compared with current studies.

The most affected species were *Didelphis aurita*. In our study, the genus *Didelphis* represents 33.33% of the occurrences of the roadkill for this class. It is also the most roadkilled type of mammal in Brazil, which can be justified by its preference for areas close to human-made areas, nocturnal habits, and mobility rate since they tend to use roads to move between different areas (COELHO; KINDEL; COELHO, 2008; CIRINO and FREITAS, 2018).

Although no endangered species were found in this study, previous studies (LEITE *et al.*, 2012) have identified the running over at least two of them: *Lontra longicaudis* (Olfers, 1818) and *Leopardus gutulus* (Schreber, 1775). It was also identified a run over of *Puma concolor* (Linnaeus, 1771) at the PR-407 road in personal communication and news media. We recommend expanding and deepening studies about the size of the population and viability of the species found in the region providing better information about the potential impact of roads on certain species/populations than just the roadkill data alone (SCHWARTZ; SHILLING; PERKINS, 2020).

The identified hotspots on both roads indicate the existence of environmental or human factors that affect the spatial distribution of these events. Two hotspots of about 1 km each were found on the PR-407, the first between kilometers 11.7 and 12.5 and the second between kilometers 14.7 to 15.7. When observing the hotspots found over satellite images of PR-407, we can observe that they are in regions close to the Guaraguaçu River. The Guaraguaçu River basin interconnects two integral protection areas (Saint-Hilaire-Lange National Park and the Guaraguaçu Ecological Station) to Paranaguá Bay, being an important biodiversity corridor between the Atlantic Forest and the estuary (ELSTE *et al.*, 2019). This connectivity is fundamental to the gene flow and health of the diverse aquatic animal and plant communities. The existence of two roadkill hotspots in this river's vicinity is quite worrying and signals the region's environmental sensitivity.

Another factor that draws attention is that the hotspot located between kilometers 14.7 and 15.7 is relatively close to the State Road Police Station, located at kilometer 16. This may be due to an increase in speed applied by drivers after passing through the inspection.

At PR-508, a hotspot was found, about 5km long, covering kilometers 5 to 10.2. In addition to coinciding with the largest urban agglomeration along the road, this area also has a straight path, which results in a higher vehicle speed. Also, during the monitoring period, this region had small bodies of water along the road. Variables related to the presence or distance of water bodies are recognized as important determinants of the spatial distribution of the running over of reptiles and amphibians (GONÇALVES *et al.*, 2018). These groups together totaled almost half of the run over of the road during the study period. This road stretch is ideal for installing mitigation measures, mainly aimed at the herpetofauna. As short-term measures, we indicate the intensification of environmental education campaigns for summer tourists and residents of the region and speed controllers and increased inspection in the kilometers identified as hotspots, especially during the summer months.

This study intends to be a starting point and alert to fauna mortality due to roadkill in a region of significant ecological importance. Given the data obtained and the forecast for road expansion, we recommend deepening population studies and fauna roadkill, especially concerning the PR-407 road, and the

implementation of new protective measures related to the existing environmental protected areas.

4.7 ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Gabriela de Lima Rosa, Alinie Rogang Selenko, Marina Dalfovo Bortoli, Heloisa Ribeiro, Julia Domingues and Leandro Angelo Pereira, for their assistance as a support team in the field trips. We thank Caio Marinho Mello, Bruno Minoro Muricava, Carlos Flaerte de Castro and Santana Júnior and Rafael Vianna, for their assistance in identifying some individuals.

4.8 REFERENCES

ALMGIR, M.; CAMPBELL, M. J.; SLOAN, S.; GOOSEN, M.; CLEMENTS, G. R.; MAHAMOUD, M. I.; LAURENCE, W. F. Economics, Socio-political and Environmental Risks of Road Development in the Tropics. *Current Biology*, Maryland Heights, v. 27, n. 20, p.1130-1140, 2017.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

BAGER, A. *Infraestrutura viária e biodiversidade: métodos e diagnósticos*. Lavras: Ed. UFLA, 2018.

BALČIAUSKAS, L.; STRATFORD, J.; BALČIAUSKIENĖ, L.; KUČAS, A. Importance of professional roadkill data in assessing diversity of mammal roadkill. *Transportation Research. Part D: Transport and Environment*, v. 87, 10 p., 2020.

CARLUCCI, M. B.; MARCILIO-SILVA, V.; TOREZAN, J. M. The southern Atlantic Forest: use, degradation, and perspectives for conservation. In: MARQUES, M. C. M. and GRELE, C. E. V. (eds). *The Atlantic Forest – History, Biodiversity, Threats and Opportunities of Mega-diverse forest*. Switzerland: Springer Nature, 2021, p. 91-114.

CARVALHO, B. H. G.; STRUETT, M. M.; LEIVAS, P. T. 2019. Predation of *Leptodactylus notoaktites* (Anura: Leptodactylidae) by *Erythrolamprus miliaris* (Squamata: Dipsadidae) in Atlantic Forest, Southern Brazil. *Herpetology Notes*, Victorville, v. 12, p. 1029-1030, 2019.

CBEE. Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas. 2021. *Atropelômetro*. 2021. Disponível em: <http://cbee.ufla.br/portal/atropelometro> Acesso em 15 de maio de 2021.

CIRINO, D.; FREITAS, S.R. Quais são os animais silvestres mais atropelados no Brasil? In: 5º. Workshop de Evolução e Diversidade. Anais: Universidade Federal do ABC, Santos, 2018. p.48-56.

COELHO, A. V. P.; COELHO, I. P.; TEIXEIRA, F. T.; KINDEL, A. Siriema: road mortality software. Manual do Usuário V.2.0. Porto Alegre: NERF, UFRGS, 2014. Disponível em: www.ufrgs.br/siriema. Acesso 18 de agosto de 2018.

COELHO, I. P.; KINDEL, A.; COELHO, A. V. P. Roadkill of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, Southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research*, Ciudad Real, v. 54, n. 4, p. 689-699, 2008.

COELHO, I. P.; TEIXEIRA, F. Z.; COLOMBO, P.; COELHO, A. V. P.; KINDEL, A. Anuran roadkill neighboring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. *Journal of Environmental Management*. v. 112, p. 17-26, 2012.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CEMA). Resolução no. 98, de 22 de setembro de 2016. Dispõe sobre a obrigatoriedade de diagnóstico, monitoramento e mitigação dos atropelamentos de animais silvestres nas estradas, rodovias e ferrovias do estado do Paraná. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=328922> Acesso em 24 de novembro de 2021.

GALETTI, M.; GONÇALVES, F.; VILLAR, N.; ZIPPARRO, V. B.; PAZ, C., MENDES, C.; LAUTENSCHLAGER, L.; SOUZA, Y.; AKKAWI, P.; PEDROSA, F. et al. Causes and consequences of large-scale defaunation in Atlantic Forest. In: MARQUES, M. C. M. and GRELE, C. E. V. (eds). *The Atlantic Forest – History, Biodiversity, Threats and Opportunities of Mega-diverse forest*. Switzerland: Springer Nature, 2021, p. 91-114.

GLISTA, D. J.; DEVAULT, T. L.; DEWOODY, J. A. 2007. Vertebrate road mortality predominantly impacts amphibians. *Herpetological Conservation and Biology*, Fresno, v. 3, n. 1, p. 77-87, 2007.

GONÇALVES, L. O; ALVARES, D. J.; TEIXEIRA, F. Z.; SCHUCK, G.; COELHO, I. P.; ESPERANDIO, I. B.; ANZA, J.; BEDUSCHI, J.; BASTAZINI, V. A. G.; KINDEL, A. Reptile roadkill in Southern Brazil: Composition, hot moments and hotspot. *Science of the Total Environment*, Barcelona, v. 615, p. 1438-1445, 2018.

HILL, J. E.; DEVAULT, T. L.; BELANT, J. L. Cause-specific mortality of the world's terrestrial vertebrates. *Global Ecology and Biogeography*, v. 28, n. 5, p.680-689, 2019.

LEITE, R. M. S.; BÓÇON, R.; BELÃO, M.; SILVA, J. C. Atropelamento de mamíferos silvestres de médio e grande porte nas rodovias PR-407 e PR-508, planície costeira do estado do Paraná, Brasil. In: BAGER, A. *Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas*. Lavras: Edição do autor. p.194-205, 2012.

LEIVAS, P. T.; CALIXTO, P. O.; CRIVELLARI, L. B.; STRUETT, M. M.; MOURA, M. O. Amphibians of the northern coast of the state of Paraná, Brazil. *Herpetology Notes*, Victorville, v. 12, p. 1029-1045. 2018.

MARQUES, M. C. M.; TRINDADE, W.; BOHN, A.; GRELE, C. E. V. The Atlantic Forest: An introduction to the Megadiverse Forest of South America. In: MARQUES, M. C. M.; GRELE, C. E. V. (eds). *The Atlantic Forest – History, Biodiversity, Threats and Opportunities of Mega-diverse forest*. Switzerland: Springer Nature. p. 3-24. 2021.

PARANÁ. Lei no 19.939 de 24 de setembro de 2019. Dispõe sobre a obrigação das empresas concessionárias de rodovias em atividade no Estado do Paraná de realizar o resgate e a assistência veterinária de emergência de animais acidentados nas rodovias e estradas por elas administradas, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=382776> Acesso em 19 de agosto de 2020.

PAULA, E. V.; PIGOSSO, A. M. B.; WROBLEWSKI, C. A. Unidades de Conservação no Litoral do Paraná: Evolução Territorial e Grau de Implementação. In: SULZBACH, M.; ARCHANJO, D.; QUADROS, J. (orgs.) *Litoral do Paraná: Território e Perspectiva, Volume 3: dimensões de desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Autografia. p. 41-92. 2018.

PRADA, C. S. Atropelamento de vertebrados silvestres em uma região fragmentada do nordeste do Estado de São Paulo: quantificação do impacto e análises de fatores envolvidos. 147f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) Universidade Federal de São Carlos, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/2117?show=full> Acesso em 18 de dezembro de 2019.

RAMOS, C. C. O.; LIMA-JUNIOR, D. P.; ZAWADZKI, C. H.; BENEDITO, E. A biologia e a ecologia das aves é um fator importante para explicar a frequência de atropelamentos? *Neotropical Biology and Conservation*, São Leopoldo, v. 6, n. 3, p. 201-212, 2011.

RIBEIRO, M. C.; MARTENSEN, A. C.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M.; SCARANO, F.; FORTIN, M. J. The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot. In: ZACHOS, F. E. e HABEL, J. C. *Biodiversity Hotspots*. Berlin: Springer. p. 405-434. 2011.

ROSA, C. A.; BAGER, A. Seasonality and habitat types affect roadkill of neotropical birds. *Journal of Environmental Management*, v. 97, p. 1-5, 2012.

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

SCHWARTZ, A. L.; SHILLING, F. M. PERKINS, S. E. 2020. The value of monitoring wildlife roadkill. *European Journal of Wildlife Research*, Ciudad Real, v. 66, n. 1, p. 1-12, 2020.

SILVA, M. O.; OLIVEIRA, I. G.; CARDOSO, M. W.; GRAF, V. Roadkill impact over the herpetofauna of Atlantic Forest (PR-304, Antonina, Paraná). *Acta Biologica Paranaense*, Curitiba, v. 36, n. 1-2, p.103-112, 2007.

TEIXEIRA, F. Z.; COELHO, A. V. P.; ESPERANDIO, I. B.; KINDEL, A. Vertebrate road mortality estimates: effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*, v. 157, p. 317–323, 2013.

5. AS COLISÕES VEICULARES COM FAUNA SOB O PONTO DE VISTA DA SAÚDE ÚNICA⁵

O acelerado crescimento da população humana tem levado a intensificação de diversos processos, tais quais a urbanização, invasão, perda e perturbação de ambientes naturais, expansão de atividades pecuárias e aumento do tráfego global de pessoas e produtos (ZINSSTAG *et al.*, 2011; DHAMA *et al.*, 2013; WOLDEHANNA e ZIMICKI, 2015). Com o aumento da complexidade de nossa sociedade e das relações estabelecidas por ela, vem também o aumento da dificuldade de solução dos problemas de saúde por ela enfrentados. Muitos desses problemas contemporâneos não podem mais ser resolvidos por abordagens reducionistas, devendo ser enfrentados por uma forma de pensamento sistêmica (ZINSSTAG *et al.*, 2013). Assim, frente a estes padrões de mudanças globais da atualidade, é essencial o reconhecimento de interconexões entre seres humanos, animais domésticos e silvestres, e o ambiente social e ecológico em que eles coabitam (ZINSSTAG *et al.*, 2011; BEHRAVESH, 2019). Com isso, se faz necessário a busca e aplicação de metodologias integradas entre saúde humana e animal, bem como seus respectivos contextos socioambientais.

Apesar dos inegáveis avanços no desenvolvimento de conceitos e metodologias integradoras, a maior parte das discussões teóricas e ações práticas das medicinas humana e veterinária ainda são trabalhadas como áreas de conhecimento separadas (ZINSSTAG *et al.*, 2011). Tratar as questões de saúde a partir de abordagens ecossistêmicas, desenvolvidas e aplicadas juntamente a ecologia, comportamento humano, planejamento ambiental, antropologia, psicologia e outras disciplinas, pode fornecer um caminho mais transdisciplinar e eficiente para uma integração do meio ambiente e desenvolvimento socioeconômico (MIN; ALLEN-SCOTT; BUNTAIN, 2013). O valor desta colaboração, além do aumento da efetividade das ações de combate e prevenção, também está nos produtos que podem ser gerados pelo projeto, nas habilidades aprendidas e em novas teorias que podem ser geradas (CONRAD; MEEK; DUMIT, 2013).

⁵ Após a defesa, esse capítulo será submetido a revista One Health (<https://www.sciencedirect.com/journal/one-health>)

O movimento científico chamado Saúde Única (*One Health*) ganhou nome e formato no ano de 2004, em uma conferência convocada pela Sociedade para a Conservação da Vida Silvestre (WCS - *Wildlife Conservation Society*) na Universidade de Rockefeller (WOLDEHANNA e ZIMICKI, 2015). O movimento pode ser definido como “esforços colaborativos multidisciplinares trabalhando local, nacional ou globalmente para o alcance da saúde ideal de seres humanos, animais e meio ambiente” (MIN; ALLEN-SCOTT; BUNTAIN, 2013). A Saúde Única tem sido reconhecida globalmente como uma forma de trabalho prática e inovadora que reconhece interfaces entre seres humanos, animais e o ambiente no qual coexistem, bem como os fatores econômicos, culturais e físicos que influenciam a saúde (ZINSSTAG *et al.*, 2011; CONRAD; MEEK; DUMIT, 2013; DHAMA *et al.*, 2013; BEHRAVESH, 2019). Este movimento é um reconhecimento de que a saúde humana e os aspectos sociais estão intimamente ligados e extremamente dependentes da resiliência dos ecossistemas (CONRAD; MEEK; DUMIT, 2013).

Historicamente, esforços da medicina veterinária na Saúde Única falharam na inclusão de atores/agentes atuantes nas questões ambientais, e os profissionais que atuam na conservação da vida silvestre e Medicina da Conservação tem se feito presentes apenas quando os animais são identificados como reservatórios para patógenos agressivos a saúde humana ou agropecuária (BEHRAVESH, 2019). O conceito de saúde única não deve ser visto apenas como um novo campo da saúde pública, mas sim deve ser integrado como área de pesquisa das ciências básicas da saúde animal e humana (DHAMA *et al.*, 2013).

Enquanto em seus primeiros passos a Saúde Única concentrou-se principalmente em doenças zoonóticas, cada vez mais sua ampliação e evolução para uma abordagem sistêmica do impacto das sociedades, comunidades e ecossistemas na saúde tem sido demandada. Tal abordagem tem sido chamada de “Saúde de Sistemas Socioecológicos” (MIN; ALLEN-SCOTT; BUNTAIN, 2013). Para que a abordagem facilite a total incorporação da vida silvestre e do meio ambiente, é necessário a inclusão do valor da biodiversidade para a integridade e sustentabilidade dos ecossistemas existentes no planeta, dos quais toda a vida depende (BEHRAVESH, 2019).

WOLDEHANNA e ZIMICKI (2015) propõem um modelo expandido de estudos de saúde única, que considera que fatores ecológicos e sociais podem contribuir para um problema de saúde em nível local. Neste capítulo, realizamos uma discussão das colisões veiculares de fauna como problema complexo de saúde única, a partir do modelo expandido de Saúde Única de WOLDEHANNA e ZIMICKI (2015). A ideia é que uma questão que tem sido tratada apenas na esfera da ecologia, de maneira compartimentalizada e reducionista, seja então abordada de maneira transdisciplinar como um problema de saúde coletiva e pública.

5.1 O ATROPELAMENTO DE FAUNA COMO UM PROBLEMA DE SAÚDE ÚNICA

Com 1.720.700 quilômetros de extensão, a malha rodoviária brasileira é a quarta maior no cenário mundial (ABRA *et al.*, 2019). Transitar em condições seguras nessas rodovias é um direito de todos, o qual deve ser garantido pelos órgãos e entidades do Sistema Nacional de Trânsito por meio da adoção de medidas cabíveis. É importante ressaltar que, conforme define o próprio código de trânsito brasileiro:

“Considera-se trânsito a utilização das vias por pessoas, veículos e **animais**⁶, isolados ou em grupos, conduzidos ou não, para fins de circulação, parada, estacionamento e operação de carga ou descarga – art. 1,º § 2º do Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997)”

Desta forma, a travessia de animais na pista está prevista no Código de Trânsito Brasileiro, devendo ser considerada em políticas públicas ambientais e sanitárias, ainda mais em cenários de expansão urbana, onde convívio entre seres humanos e animais se tornam cada vez mais frequentes. Apesar das colisões veiculares com fauna serem frequentemente relatadas na literatura especializada da área de ecologia, principalmente no que se refere às ameaças a vida silvestre e biodiversidade (conforme visto no Item 2 desta tese), Estudos acerca desses eventos e seus impactos na saúde humana, bem como seus aspectos econômicos e sociais são bem menos frequentes (TAVARES *et al.*,

⁶ Grifo da autora

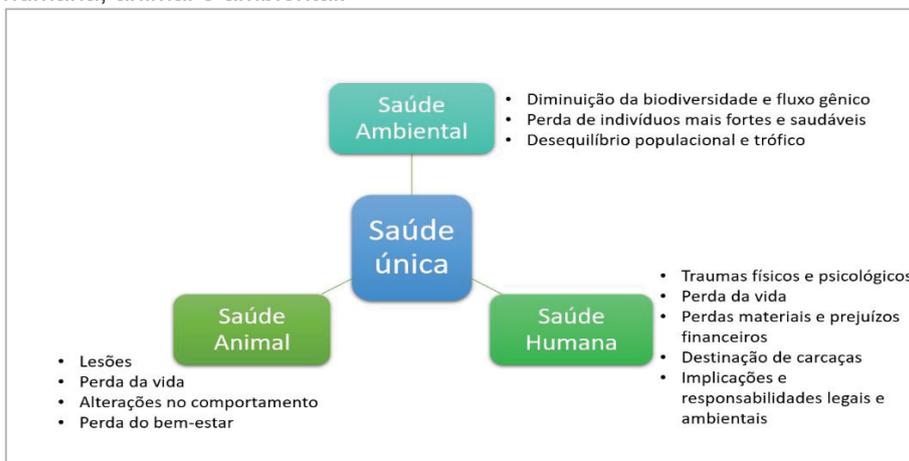
2017). Órgãos nacionais e internacionais de saúde consideram a alta incidência de acidentes viários uma epidemia, devido as milhares de vítimas fatais e sobreviventes com sequelas (BATISTÃO; TACHIBANA; SILVA, 2016). Frente a isso, alguns pesquisadores têm defendido o enfrentamento das colisões veiculares com fauna como um problema de saúde pública (LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006)

A presença de animais na pista é considerada a oitava maior causa de acidentes em rodovias federais do Brasil, superando o sono, ultrapassagem indevida e infraestrutura da via, além de ser a nona causa de acidentes com vítimas fatais (JARDIM *et al.*, 2017). Apesar disso, o atropelamento de fauna nas rodovias federais brasileiras é um índice pouco mencionado no estudo de causas de mortalidade de motoristas e passageiros (TAVARES *et al.*, 2017).

Para enfrentamento dos problemas relacionados às colisões veiculares com fauna (CVF), é necessário considerar estes acidentes de trânsito como um problema de saúde pública (MOHANTY *et al.*, 2021; LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006). É preciso incentivar estudos sobre o assunto; promover treinamento das equipes de saúde e de resgate para melhorar o trato aos pacientes e o diagnóstico e tratamento do transtorno de estresse pós-traumático; além de realizar programas de promoção da saúde, com campanhas educativas e trabalhos de melhoria da segurança viária (CAVALCANTE; MORITA; HADDAD, 2007).

Para entendermos o atropelamento de animais como um problema de saúde, é preciso trazer o conceito de saúde em si. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a saúde pode ser definida como “o estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não apenas a ausência de enfermidades e/ou doenças”. Com este conceito em mente, na FIGURA 9 elaboramos uma síntese dos potenciais desequilíbrios causados pelas colisões veiculares com fauna na saúde humana, animal e ambiental e que serão abordados na sequência.

Figura 9 – Potenciais desequilíbrios causados pelas colisões veiculares com fauna na saúde humana, animal e ambiental.



5.2 IMPLICAÇÕES DO ATROPELAMENTO DE FAUNA PARA A SAÚDE HUMANA

Mais de 500 mil pessoas são envolvidas diretamente em acidentes de trânsito só nas rodovias federais brasileiras por ano (IPEA, 2015). Os acidentes de trânsito no país são a principal causa de mortes entre homens de 15 a 44 anos, e a quinta principal causa entre mulheres (CAVALCANTE; MORITA; HADDAD, 2007). Acredita-se que uma política adequada de segurança no trânsito deve atuar no sentido de reduzir a exposição ao risco, a quantidade de acidentes, a severidade de acidentes e os danos às vítimas (BATISTÃO et al., 2016)

Há uma escassez de dados em todo o mundo no que diz respeito à epidemiologia das lesões causadas por acidentes de trânsito por colisões veiculares com fauna, embora isso seja reconhecido como uma questão importante para a saúde e acarrete grandes custos socioeconômicos (LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006; MOHANTY *et al.*, 2021). Ao se depararem com uma situação inusitada de um animal na pista, muitas vezes os motoristas cogitam conscientemente o atropelamento por crerem que o impacto seria consideravelmente menor do que o risco de uma manobra defensiva para se evitá-lo. Porém, uma colisão entre um veículo de pequeno porte em uma velocidade de 100km/h (média de velocidade para grande parte das rodovias federais brasileiras) e um animal médio proporciona um significativo risco de ferimentos graves e até mortais tanto para os animais quanto para os seres

humanos (TAVARES *et al.*, 2017). Além de levarmos em conta velocidade do veículo e tamanho do animal, as implicações de saúde para seres humanos e animais também dependem do tipo de veículo envolvido. As colisões de animais com veículos de duas rodas costumam causar um menor grau de lesão para o animal e maior para o motorista. Já quando os animais são atropelados por veículos de quatro rodas, os resultados costumam ser um maior grau de lesão para o animal e menor para o motorista (MOHANTY *et al.*, 2021).

A mortalidade e a morbidade por acidentes de trânsito no Brasil é um tema de mais alta importância pelo custo humano e social dos óbitos que poderiam ser evitados e pelo sofrimento advindo das lesões e sequelas irreversíveis. Cavalcante, Morita e Haddad (2007) sugerem que o tema dos acidentes de trânsito deva ser pensando em conjunto com o das violências em geral:

“É preciso sensibilizar profissionais de todas as áreas, profissionais da saúde e gestores públicos para se mostrar com evidências a extensão e magnitude das sequelas dos acidentes e violências e a necessidade de uma maior organização para abordagem do tema, fortalecendo inclusive projetos já existentes, como o Projeto Sentinela, do Ministério da Saúde.”

Segundo as mesmas autoras, as vítimas dos acidentes de trânsito vão muito além das diretamente envolvidas no acidente e pode ser divididas em: Sobreviventes primários (vítimas submetidas ao nível máximo de exposição); sobreviventes secundários (familiares próximos das vítimas); vítimas de 3º grau (profissionais que atuam na emergência e no socorro às vítimas); vítimas de 4º grau (pessoas da comunidade envolvidas com o acidente, repórteres, pessoas do poder público); e vítimas de 5º grau (aquelas que sofrem o estresse pelo que veem ou pelo que tomam conhecimento por meio da comunicação social).

Além das lesões imediatas, os acidentes podem deixar sequelas em níveis variados entre os sobreviventes e efeitos adversos entre os membros da família (CAVALCANTE; MORITA; HADDAD, 2007). Os impactos do estresse pós-traumático de um acidente de trânsito na pessoa vitimada e nas suas relações familiares e sociais, embora sejam de difícil quantificação, necessitam ser identificados e caracterizados, pois evidenciam a amplitude da violência dos acidentes. Estima-se que 11,5% dos envolvidos em acidentes de trânsito desenvolvam Transtorno de Estresse Pós-Traumático (TEPT). Além disso, outros sintomas podem ser desenvolvidos, tais quais a ansiedade fóbica a

viagens, ansiedade generalizada e depressão. O desenvolvimento ou não do TEPT também está relacionado a gravidade do acidente e agilidade/qualidade do atendimento as vítimas (CAVALCANTE; MORITA; HADDAD, 2007).

Os indivíduos envolvidos em acidentes de trânsito, em especial nas rodovias, em condições de distanciamento físico do atendimento e do resgate, desenvolvem um quadro de comorbidade no qual a depressão e a ansiedade são as consequências mais frequentemente descritas no cenário internacional (CAVALCANTE; MORITA; HADDAD, 2007). A qualificação dos profissionais para o primeiro atendimento às vítimas e os atendimentos continuados torna-se crucial e estratégica, para minimizar a magnitude do sofrimento humano aqui implicado. É fundamental que a primeira abordagem ainda no local de ocorrência do acidente seja uma abordagem de qualidade, voltada para minimizar os problemas daí decorrentes (CAVALCANTE; MORITA; HADDAD, 2007)

5.3 IMPLICAÇÕES SOCIOAMBIENTAIS DO ATROPELAMENTO DE FAUNA

As maiores implicações socioambientais conhecidas para as CVF são relativas aos aspectos econômicos dos eventos. Estima-se que os custos com danos materiais aos veículos somados aos dos ferimentos ou fatalidades humanas atinjam mais de um bilhão de euros por ano na Europa (TAVARES *et al.*, 2017). Já nos Estados Unidos, o custo médio por morte em acidente de trânsito é de US\$ 1.120.000, enquanto o de lesão incapacitante não fatal é de US\$ 45.000 (LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006). Estima-se que anualmente nos EUA ocorram dois milhões de colisões entre veículos e mamíferos de grande porte, tendo como consequência 211 mortes de pessoas e mais de 29.000 feridos (HUIJSER *et al.*, 2009). Dados de seguradoras indicam que, no ano de 2002, a indústria de seguros pagou cerca de US\$ 1,1 bilhões em sinistros realizados devido a colisões com cervídeos, com o custo médio de US\$ 2.000 por sinistro, variando devido ao tipo de veículo e gravidade do acidente (HUIJSER *et al.*, 2009).

No Brasil, dados do IPEA (2015) mostram que, cada acidente de trânsito custa em média R\$ 72.705,31 à sociedade brasileira, sendo que um acidente envolvendo vítima fatal tem um custo médio de R\$ 646.762,94. Apesar de representar menos de 5% do total de ocorrências, acidentes fatais contribuem

com cerca de 35% dos custos totais, indicando a necessidade de intensificação das políticas públicas de redução não somente da quantidade dos acidentes, mas também da sua gravidade.

Os administradores de estradas, principalmente quando esta está sob concessão privada, são geralmente responsabilizados pelas CVF, pois prestam um serviço ao público que viaja e são obrigados a proteger seus clientes. Porém, tanto do ponto de vista ético quanto econômico, as CVF que envolvem animais domésticos também geram uma implicação legal aos tutores dos animais, quando estes podem ser identificados e encontrados. Entretanto, na maioria das vezes isso não ocorre, e os processos judiciais acabam por envolver apenas o administrador da estrada, seja ele público ou privado (ABRA *et al.*, 2019). Na Itália, se não houver identificação da tutoria do animal, o município onde o animal foi atingido é responsabilizado, pois considera-se que o município não impediu o abandono dos animais e expôs os usuários da estrada a um risco (ABRA *et al.*, 2019).

Existem tentativas de quantificar financeiramente o valor intrínseco dos animais mortos por CVF, apesar da dificuldade e subjetividade desta ação (WILKINS; KOCKELMAN; JIANG, 2019). Nos EUA, cervos e outros tipos de animais alvos de caça são considerados um recurso natural com valor agregado com base na receita da caça. Estima-se que o custo de um cervo perdido em uma colisão esteja entre US\$ 700 e US\$ 800 (LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006).

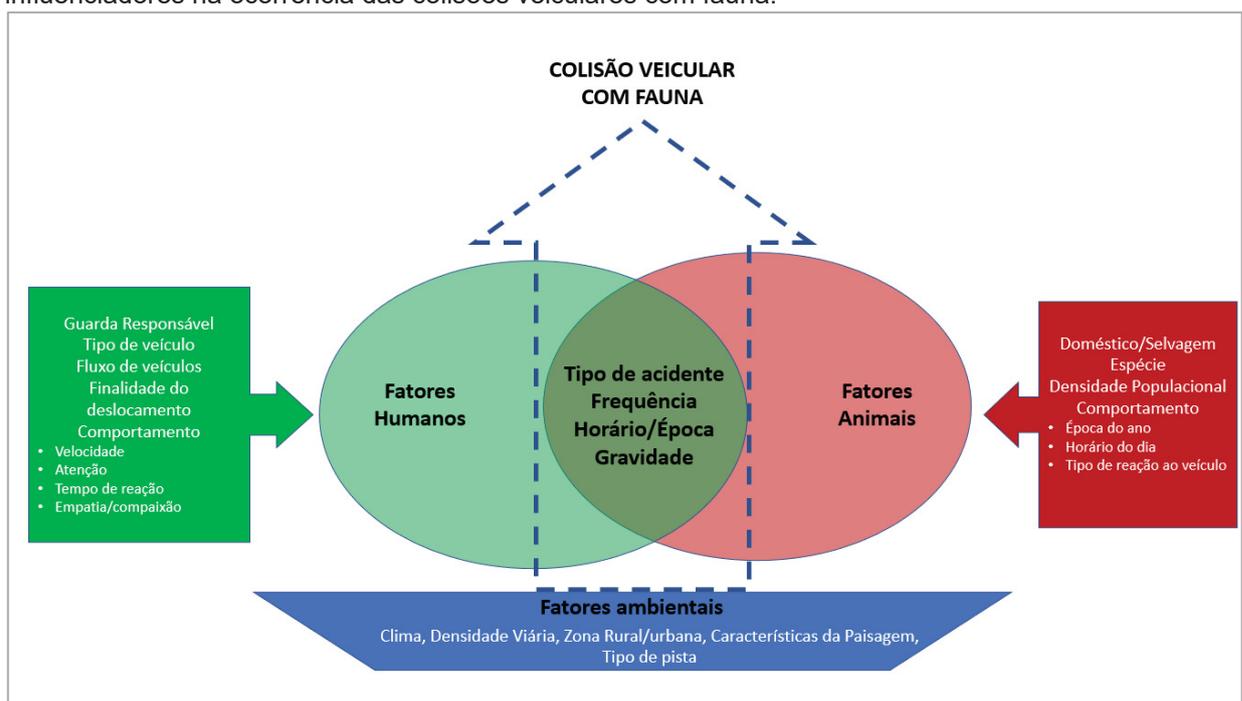
5.4 PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM NAS OCORRÊNCIAS DAS COLISÕES VEICULARES COM FAUNA.

A partir da definição do conceito de saúde única, e do levantamento dos potenciais impactos que as colisões veiculares com animais causam a saúde humana, animal e ambiental, utilizamos o modelo expandido de saúde única proposto por Woldehanna e Zimicki (2015) para listar os principais fatores que influenciam e devem ser considerados para o estudo do problema de maneira transdisciplinar (FIGURA 10). Segundo as autoras, em uma primeira fase do estudo, deve ser realizado um levantamento informativo, envolvendo a coleta de dados qualitativos que possam auxiliar a compreensão da interface

homem/animal dos eventos. Esta fase deve ser guiada pelas perguntas: “como”, “quando”, “onde” e “porque” as interações ocorrem. A partir da listagem de aspectos que poderiam responder a estas perguntas, o modelo proposto tem como um de seus objetivos melhorar a compreensão das interações entre aspectos culturais e ecologia na determinação do potencial de risco da interação homem-animal.

Fatores ligados aos motoristas que influenciam nas CVF são pouco compreendidos e discutidos no meio acadêmico (MOHANTY *et al.*, 2021). Alguns estudos trazem como agravantes das CVF fatores como uso de álcool e entorpecentes, velocidade excessiva, ausência de equipamentos de proteção (cintos de segurança e capacetes) e má iluminação da pista (LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006)

FIGURA 10 – Principais fatores socioambientais que devem ser considerados como influenciadores na ocorrência das colisões veiculares com fauna.



Fonte: Adaptado a partir do modelo expandido para Saúde Única proposto por Woldehanna e Zimicki (2015).

Em relação ao atropelamento de fauna, fatores relacionados aos animais, principalmente animais silvestres, já são bastante descritos na ecologia de estradas. Porém, a existência de animais domésticos errantes em rodovias continua sendo um dos fatores menos reconhecidos que levam as colisões veiculares com animais (MOHANTY *et al.*, 2021). A escassez de estudos sobre

o tema leva a dificuldade de propor e implantar medidas de mitigação adequadas.

De acordo com Forman *et al.* (2003), podem ser enumerados vários fatores que influenciam os atropelamentos de animais nas estradas, os quais podem ser resumidos em três grupos: 1) velocidade dos veículos e volume de tráfego; 2) características da paisagem e 3) comportamento e ecologia das espécies. Dias e Freitas (2005) também destacam que a presença de corpos de água e vegetação próxima das rodovias, bem como pontos que são utilizados por alguns animais, como corredores de conexão entre ambientes e o aumento da densidade de estradas por quilômetro quadrado de área geográfica, são alguns fatores da paisagem que influenciam o aumento no número de atropelamentos de vertebrados.

5.5 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

A abordagem da Saúde Única promove uma mudança de paradigma das atuais estratégias centradas em indivíduos ou doenças para o uso de uma visão sistêmica e social, que inclui a maneira como gerenciamos os ambientes que compartilhamos. As relações entre pessoas, animais e ecossistemas são extremamente interdependentes, e mudanças na estrutura, como ocorre com o surgimento de uma estrada em ambientes antes não ocupados, pode alterar significativamente a coexistência entre estes elementos. As estradas têm sido objeto de estudo principalmente no que se refere as colisões entre veículos e animais, o que tem aumentado progressivamente conforme aumentamos o número de rodovias e veículos transitando nelas. Abordar os atropelamentos de fauna sob o olhar da saúde única pode diminuir os custos econômicos além das ameaças a saúde e a vida, tanto humana quanto animal.

Para melhorar a saúde pública como um todo, o pensamento sistêmico requer a compreensão do funcionamento dos aspectos humanos, ambientais e das estruturas sociais envolvidas. Pessoas, animais e ambiente formam um ecossistema interdependente que precisa ser considerado de maneira coordenada, e a compreensão de como esses fatores se relacionam pode ser bastante útil para o desenvolvimento de intervenções e ações para a redução de riscos. Zinsstag e colaboradores (2011) sugerem fortemente a inclusão de

aspectos quantitativos e qualitativos da saúde humana e animal como fatores de análise de sistemas socioecológicos. No presente trabalho, consideramos os acidentes entre veículos e animais em rodovias como um problema social e de saúde complexo, que já gera profundos impactos sanitários, econômicos e ambientais.

Para entender melhor este problema, a caracterização dos fatores de risco relacionados às colisões de veículos com animais é essencial, uma vez que o conhecimento desses fatores permitirá a elaboração de estratégias de prevenção na tentativa de reduzir a morbidade, mortalidade e custos associados às CVF. Com este objetivo em mente, realizamos o estudo “Do global ao local: análise dos aspectos das colisões veiculares com fauna nas rodovias federais brasileiras, paranaenses e na serra do mar” apresentado no capítulo a seguir.

6. ARTIGO 2 – DO NACIONAL AO REGIONAL: ASPECTOS DAS COLISÕES VEICULARES COM ANIMAIS, NAS RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS, PARANAENSES E SERRA DO MAR.⁷

Izabel Carolina Raittz Cavallet^{1,2}, Rogério Ribas Lange¹, Luisa Maria Diele-Viegas³

¹ Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná.

² Instituto Federal do Paraná, campus Paranaguá.

³ Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia.

6.1 ABSTRACT

The animal roadkill on highways is considered the main anthropic cause of direct mortality of fauna. However, the impacts of collisions between vehicles and animals go far beyond the loss of biodiversity and ecological consequences. In order to be effectively understood and mitigated, road accidents caused by the presence of animals on the road must be analyzed as a complex One Health problem, which involves environmental, economic, social and health damages to humans and, also to domestic and wild animals. In order to obtain these data, we carried out in this work a descriptive analysis of the temporal and spatial aspects of traffic accidents caused by the presence of animals on the roadway on the country's federal highways during the years 2011 to 2021. The data were obtained from the Base of Traffic Accident Bulletins of the Federal Highway Police. Four scenarios were chosen for the study of accident patterns, starting from an analysis of events at a national level to a local analysis (Brazil, Paraná, BR-277 highway and stretch of BR-277 federal highway that covers Serra do Mar). 32,419 accidents caused by the presence of animals on the 75,800 kilometers of federal highways in the country were identified. On average, there were 2,947 accidents of this type per year, accounting for 2.48% of the total number of accidents on federal highways. A total of 36,827 vehicles and 52,902 people were involved in these accidents, of which 20,059 (37.92%) required some type of medical care (including minor and serious injuries) and 1,064 (2.01%) lost their lives. In the national and state scenarios, the highest incidence of accidents was in rural areas, on single-lane highways and straight stretches. In the Serra do Mar region of Paraná, the majority of accidents occurred in urban and dual lane stretches. Regarding seasonal patterns, we observed that most accidents occurred between the months of May and July. Most accidents occurred in “open sky” weather conditions and the period of the day with the highest concentration of accidents was between 6 pm and 9 pm. The differences and similarities between the analyzed scenarios demonstrate the need to understand not only the global patterns in the occurrence of events, but also the peculiarities of each region. Understanding this information can be considered as

⁷ Após a defesa, esse artigo será submetido a revista PLOS Global Public Health (<https://journals.plos.org/globalpublichealth/s/journal-information>)

a first step towards the suggestion and implementation of measures that make local roads safer for humans and animals.

Key-words: One health; Wildlife; Human Health; Roads

6.2 RESUMO

O atropelamento de animais em rodovias é considerado a principal causa antrópica de mortalidade direta de fauna. Porém, os impactos das colisões entre veículos e animais vão muito além da perda de biodiversidade e consequências ecológicas. Para que possam ser efetivamente compreendidos e mitigados, os acidentes rodoviários causados pela presença de animais na pista devem ser analisados como um problema de Saúde Única complexo, que envolve danos ambientais, econômicos, sociais e de saúde de seres humanos e animais domésticos e silvestres. Com o objetivo de obter esses dados, neste trabalho realizamos uma análise descritiva dos aspectos temporais e espaciais dos acidentes de trânsito causados pela presença de animais na pista nas rodovias federais do país durante os anos de 2011 a 2021. Os dados foram obtidos a partir da Base de Boletins de Acidentes de Trânsito da Polícia Rodoviária Federal. Foram escolhidos quatro cenários para o estudo dos padrões dos acidentes, partindo-se de uma análise de eventos em nível nacional até uma análise local (Brasil, Paraná, rodovia BR-277 e trecho da rodovia federal BR-277 que abrange a Serra do Mar). Foram identificados 32.419 acidentes causados pela presença de animais nos 75,8 mil quilômetros de rodovias federais no país. Em média, aconteceram 2947 acidentes deste tipo por ano, somando 2,48% do número total de acidentes nas rodovias federais. Foram envolvidos nestes acidentes 36.827 veículos e 52.902 pessoas, sendo que destas 20.059 (37,92%) precisaram de algum tipo de atendimento médico (incluindo ferimentos leves e graves) e 1.064 (2,01%) perderam a vida. Nos cenários nacional e estadual, a maior incidência dos acidentes foi em área rural, em rodovias de pista simples e trechos retilíneos. Já na região da Serra do Mar paranaense, os acidentes aconteceram em sua maioria em trechos urbanos e de pista dupla. Em relação aos padrões sazonais observamos que a maior parte dos acidentes ocorreram entre os meses de maio e julho. A maioria dos acidentes ocorreu em condições climáticas de “céu aberto” e o período do dia com maior concentração de acidentes foi entre as 18h e 21h. As diferenças e semelhanças entre os cenários analisados, demonstram a necessidade de se entender não só os padrões globais na ocorrência dos eventos, mas também as peculiaridades de cada região. A compreensão destas informações pode ser considerada como primeiro passo para a sugestão e implantação de medidas que tornam as estradas locais mais seguros para seres humanos e animais.

Palavras chave: Saúde Única; Fauna silvestre; Saúde Humana; Estradas.

6.3 INTRODUÇÃO

As colisões veiculares podem ser consideradas atualmente como a principal causa antrópica de mortalidade direta de fauna, ultrapassando inclusive a caça (SEILER, 2001; HILL; DEVAULT; BELANT, 2019). Mesmo quando os eventos de atropelamento de fauna não sejam vistos como potencialmente prejudiciais a sobrevivência das espécies animais, deve haver uma preocupação econômica, social e ética com eles. Além de seus evidentes impactos ambientais, o atropelamento de animais tem se tornado um sério problema mundial de trânsito devido ao aumento não só do número de eventos como dos custos socioeconômicos causados por eles (CANAL *et al.*, 2018). Muitos autores discutem o atropelamento de fauna não apenas como um problema ecológico, mas também como um problema de segurança viária, com impactos na economia e saúde pública e privada (SEILER, 2001; RAMP e ROGER, 2008; ABRA *et al.*, 2019). Embora perdas de vida humana não sejam tão frequentes nas colisões veiculares com fauna em relação a outros tipos de acidentes rodoviários, o número de feridos é alto, e os custos econômicos podem ser bastante expressivos. Sendo assim, as colisões entre veículos e fauna acabam por envolver diversas esferas, tais quais órgãos de saúde, ambientalistas, agências regulatórias de trânsito e grupos de proteção e bem-estar animal (RAMP e ROGER, 2008).

Em muitos países a segurança viária, e não a questão ambiental em si, acaba sendo o principal objetivo e motivação para o monitoramento de atropelamento de fauna (TAVARES *et al.*, 2017) e para a implantação de medidas de mitigação (SEILER, 2001). Isso ocorre principalmente onde os animais mais frequentemente atingidos tem porte maior e, conseqüentemente, originam acidentes com altos custos para a sociedade e maior gravidade a saúde dos seres humanos, como é o caso dos cangurus na Austrália e cervídeos de grande porte do Hemisfério Norte (TAVARES *et al.*, 2017). Na Europa (excluindo a Rússia) por ano são registradas cerca de 500.000 colisões com ungulados, que causam em média 300 vítimas fatais e 30.000 feridos, além de danos materiais de mais um bilhão de dólares (SEILER, 2001). Já nos Estados Unidos, a média anual é de dois milhões de acidentes desse tipo, tendo como

consequência cerca de 211 mortes de pessoas e mais de 29.000 feridos (TAVARES *et al.*, 2017).

Além dos traumas físicos e emocionais causados às vítimas, aos seus familiares e equipes de atendimento e resgate, que não são passíveis de mensuração monetária (CAVALCANTE; MORITA; HADDAD, 2007), os acidentes de trânsito representam altos custos para toda a sociedade. Aos custos econômicos de tratamento e gestão da ocorrência podem ser adicionados: custos relacionados a redução da qualidade de vida devido ao trauma físico e psicológico; custos indiretos como perda da produtividade, danos materiais e aumentos nos custos de seguro; e danos ecológicos e suas resultantes econômicas, como por exemplo impactos na indústria do turismo (RAMP e ROGER, 2008), já que os aspectos psicológicos e estéticos da presença de carcaças na pista também devem ser levados em consideração (SEILER, 2001).

Porém, apesar de sua importância bastante evidenciada, as colisões veiculares com animais não são um problema de escala completamente conhecido, já que boa parte dos incidentes não é relatada às autoridades e órgãos oficiais, ou muitas vezes esses registros servem apenas para fins de registros de boletins de ocorrência para seguradoras ou acompanhamento jurídico (ABRA *et al.*, 2019). Poucas informações são geradas, sistematizadas e discutidas para elaboração de políticas públicas que possam efetivamente reduzir os impactos ambientais e socioeconômicos desses eventos. Por exemplo, sabe-se que o Brasil gasta 40 bilhões de reais por ano com acidentes em rodovias federais, sendo que 64,72% dos custos estão ligados aos custos com pessoas, principalmente devido à perda da produtividade (IPEA, 2015). O que o relatório não deixa claro é se essa categoria de “perda de produtividade” abrange traumas psicológicos e transtornos do estresse pós-traumático, que podem ser muito potencializados na colisão com um animal (CAVALCANTE; MORITA; HADDAD, 2007). É importante que os dirigentes públicos conheçam a estrutura e os processos de formação desses custos para que intensifiquem políticas adequadas de redução dos acidentes e de mitigação de seus impactos negativos sobre a sociedade (IPEA, 2015).

O enfrentamento dos problemas causados pelas colisões veiculares com animais inicia por passar a considerá-los como um problema complexo de Saúde

Pública, que exige estratégias específicas e multidisciplinares de abordagem. A ciência chamada Saúde Única, definida como uma abordagem que preconiza o trabalho multidisciplinar entre a saúde humana, animal e ambiental, encoraja a colaboração de diversas áreas de conhecimento para o enfrentamento e solução de problemas de saúde complexos (CONRAD; MEEK; DUMIT, 2013; DHAMA *et al.*, 2013). Sob o ponto de vista da Saúde Única, a saúde humana e animal podem ser aprimoradas através da utilização de inovações de parcerias, colaborações e programas de pesquisa/vigilância/controlado em saúde (DHAMA *et al.*, 2013). Enquanto inicialmente a Saúde Única concentrou-se principalmente em estudos de doenças zoonóticas, cada vez mais ela tem sido demandada para se ampliar e evoluir para abordagens sistêmicas do impacto das sociedades, comunidades e ecossistemas na saúde, abordagem que tem sido chamada de “Saúde de Sistemas socioecológicos” (MIN; ALLEN-SCOTT; BUNTAIN, 2013).

Para se abordar as colisões veiculares com animais do ponto de vista de um problema de saúde única, é necessário o levantamento do perfil epidemiológico das ocorrências. Sendo assim, nossos objetivos com esse trabalho foram: (i) avaliar os padrões temporais e espaciais das colisões rodoviárias causadas pela presença de animais na pista em quatro diferentes cenários: nacional, estadual, na rodovia BR-277 e no trecho da rodovia BR-277 relativo a Serra do Mar Paranaense; (ii) identificar potenciais de uso e problemas de qualidade de dados para fins de estudo científico das colisões com fauna do banco de dados dos acidentes rodoviários da polícia rodoviária federal; (iii) realizar recomendações para melhoria da coleta de dados e indicar medidas preventivas que podem ser tomadas a partir das informações levantadas.

6.4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho realizamos uma análise descritiva dos aspectos temporais e espaciais dos acidentes de trânsito causados pela presença de animais na pista nas rodovias federais do país durante os anos de 2011 a 2021 (período de 11 anos). Foram escolhidos quatro cenários para o estudo dos padrões dos acidentes, partindo-se de uma análise de eventos em nível nacional até uma análise local: a) Brasil: acidentes causados pela presença de animais na pista nas rodovias federais em todo o território nacional; b) Paraná: acidentes

causados pela presença de animais na pista nas rodovias federais presentes no estado no Paraná; c) rodovia BR-277: acidentes causados pela presença de animais na pista na extensão total da rodovia federal BR-277; e d) Serra do Mar: acidentes causados pela presença de animais no trecho da rodovia federal BR-277 que abrange a Serra do Mar. Definimos como trecho da Serra do Mar 78 quilômetros da Rodovia BR 277 compreendidos entre os municípios de Paranaguá (Km 0 da BR-277) até a divisa do Município de São José dos Pinhais com a capital Curitiba (Km 78 da BR-277), no estado do Paraná.

A Polícia Rodoviária Federal Brasileira – PRF possui uma base de dados de Boletim de Acidentes de Trânsito – BAT onde os dados de todas os acidentes em rodovias federais estão agrupados por ocorrência ou por pessoas⁸. Os registros de acidentes por ocorrências são categorizados de acordo com a causa, tipo e classificação do acidente; data e horário da ocorrência; período do dia; pessoas envolvidas (mortos, feridos graves e leves, ilesos); veículos envolvidos; condição meteorológica; tipo de pista e traçado da rodovia. Para a coleta dos dados referentes aos acidentes utilizados neste trabalho, foi utilizada o BAT da PRF nos anos-base 2011 a 2021, onde foram avaliados todos os acidentes que tiveram como causa definida a presença de animais na pista.

Os dados foram tabulados e analisados através de estatística descritiva de acordo com nove critérios divididos em três grandes categorias. A primeira grande categoria de análise foi chamada de “Influência da Paisagem e Características da Pista” e envolveu os critérios de Paisagem, Tipo de Pista e Traçado da Pista. Para a análise dos parâmetros de influência da paisagem na ocorrência dos eventos, foram considerados os dados preenchidos nos boletins de ocorrência no campo uso do solo. Foram utilizadas as categorias “urbano” ou “rural” para os anos de 2011 a 2016 e “sim” ou “não” para os anos de 2017 a 2021, sendo sim para presença de área urbana e não para ausência de área urbana (equivalente à área rural). Já para avaliar a influência das características da pista foram utilizadas informações sobre o tipo de pista (simples, dupla ou múltipla) e traçado da via no local do acidente (reta, curva e outros, onde foram agrupados dados de menor periodicidade, como desvio temporário,

⁸ Estes dados estão disponibilizados pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal através do sítio <<https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes>>.

cruzamento/interseção de vias, ponte, rotatória, retorno regulamentado, túnel, viaduto ou dados não informados).

A segunda grande categoria foi chamada de “Influências Climáticas e Sazonais” e envolveu os critérios de Condições Meteorológicas, Estação do Ano, dia da semana e horário do acidente. Para a análise das condições meteorológicas, foram utilizadas as categorias “céu claro”, “nublado”, “chuva/garoa/chuvisco”, “nevoeiro/neblina” e “outros” (i.e., dados de menor periodicidade, tais quais neve, sol, vento, ignorado e não identificado). Para estação do ano foram analisadas tanto a distribuição média mensal dos acidentes quanto por estação do ano, enquanto para dias da semana, os acidentes foram categorizados tanto por dia da semana quanto em categorias de “fim de semana” (sábados e domingos) e “dia da semana” (segunda a sexta feira). E por fim, para horário do acidente, foram criadas oito categorias de horário equivalentes a um intervalo de três horas cada, sendo elas “0h às 2h59”, “3h às 5h59”, “6h às 8h59”, “9h às 11h59”, “12h às 14h59”, “15 às 17h59”, “18h às 20h59”, “21 às 23h59”.

A terceira grande categoria englobou a “Tipificação e Classificação dos acidentes”. Em relação a tipificação dos acidentes, foram utilizadas dez categorias: “Atropelamento de animal”, “saída da pista”, “capotamento”, “tombamento”, “colisão traseira”, “colisão frontal”, “colisão lateral”, “colisão com objeto”, “queda de ocupante” e “outros” (i.e., dados de menor periodicidade, tais quais atropelamento de pedestre, danos eventuais e eventos atípicos, derramamento de carga, engavetamento e incêndio). Já em relação a classificação dos acidentes quanto a gravidade, foram utilizadas as categorias “sem vítimas”, “com vítimas feridas”, “com vítimas fatais” e “ignorados”.

Por fim, para entender melhor o padrão local dos acidentes causados por animais na pista na região da Serra do Mar da rodovia federal BR-277, foi realizada uma análise da distribuição dos eventos ocorridos no período ao longo dos 78 quilômetros que ligam o Porto de Paranaguá (km zero) até a divisa dos municípios de São José dos Pinhais e Curitiba (km 78).

6.5 RESULTADOS

Para o período de 11 anos analisados, foram encontrados 32.419 acidentes causados pela presença de animais nos 75,8 mil quilômetros de rodovias federais no país. Em média, aconteceram 2947 acidentes deste tipo por ano, somando 2,48% do número total de acidentes nas rodovias federais. A relação entre o número de acidentes causados por animais e o número total de acidentes para cada um dos quatro cenários estudados pode ser observada na TABELA 7.

TABELA 7 – Comparação entre o total de acidentes de trânsito e os acidentes causados pela presença de animais nas rodovias federais entre os anos de 2011 e 2021.

Ano	Brasil			Paraná			BR-277			Br-277 Serra do Mar		
	Total de Acidentes	Acidentes causados por animais	%	Total de Acidentes	Acidentes causados por animais	%	Total de Acidentes	Acidentes causados por animais	%	Total de Acidentes	Acidentes causados por animais	%
2011	192327	5008	2,60	22189	233	1,05	5527	62	1,12	1197	11	0,92
2012	184568	4834	2,62	20749	269	1,30	5316	69	1,30	1203	15	1,25
2013	186748	4768	2,55	19789	233	1,18	4983	56	1,12	702	15	2,14
2014	169201	3737	2,21	17178	177	1,03	4370	52	1,19	920	13	1,41
2015	122160	3080	2,52	12792	153	1,20	3197	48	1,50	666	9	1,35
2016	96363	2605	2,70	11032	147	1,33	2707	34	1,26	547	11	2,01
2017	89563	2623	2,93	10689	162	1,52	2691	34	1,26	549	9	1,64
2018	69291	1614	2,33	7952	105	1,32	2016	28	1,39	426	8	1,88
2019	67446	1527	2,26	7708	106	1,38	1978	30	1,52	435	12	2,76
2020	63548	1410	2,22	7190	72	1,00	1820	19	1,04	480	3	0,63
2021	64515	1213	1,88	7335	88	1,20	1930	22	1,14	422	1	0,24
TOTAL	1305730	32419	2,48	144603	1745	1,21	36535	454	1,24	7547	107	1,42

Durante o período estudado, os estados brasileiros com o maior número de acidentes rodoviários causados por animais na pista foram: Minas Gerais (11,96%, n=3.876), Rio Grande do Sul (9,64%, n=3.126) e Pernambuco (7,92%, n=2.569). O Paraná foi o sexto estado com o maior número de eventos, como pode ser observado na TABELA 8.

TABELA 8 – Perfil estadual dos acidentes de trânsito causados pela presença de animais nas rodovias federais entre os anos de 2011 e 2021.

Estados	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total	Média anual	%
MG	626	646	590	456	316	299	287	198	169	160	129	3876	352,36	11,95
RS	515	430	527	408	320	244	249	113	110	122	88	3126	284,18	9,64
PE	455	369	355	245	258	218	234	122	117	105	91	2569	233,55	7,92
BA	408	429	404	275	199	196	189	83	115	86	80	2464	224,00	7,60
MS	284	292	287	245	231	182	120	94	83	104	67	1989	180,82	6,13
PR	233	269	233	177	153	147	162	105	106	72	88	1745	158,64	5,38
PI	308	300	262	208	148	119	112	77	76	59	49	1718	156,18	5,30
PB	230	239	241	151	170	115	95	67	70	44	54	1476	134,18	4,55
CE	182	181	195	190	128	156	137	72	58	64	47	1410	128,18	4,35
RJ	212	199	203	174	131	77	90	79	83	78	65	1391	126,45	4,29
SC	189	166	184	160	127	116	104	64	55	72	50	1287	117,00	3,97
RN	169	200	168	137	116	101	105	78	71	50	72	1267	115,18	3,91
GO	158	166	148	115	123	95	102	78	61	64	74	1184	107,64	3,65
SP	169	144	172	173	128	89	90	47	39	46	46	1143	103,91	3,52
MA	209	189	179	116	87	71	114	57	35	40	26	1123	102,09	3,46
MT	159	137	118	101	123	109	137	74	57	40	36	1091	99,18	3,36
AL	80	83	117	73	71	52	68	44	38	39	29	694	63,09	2,14
RO	108	75	72	66	41	55	53	36	34	36	27	603	54,82	1,86
SE	70	98	91	72	42	31	37	21	40	22	16	540	49,09	1,66
PA	77	66	72	54	41	45	31	31	23	17	12	469	42,64	1,45
ES	43	46	51	55	46	24	30	36	49	35	23	438	39,82	1,35
TO	56	39	42	39	21	14	35	10	12	9	11	288	26,18	0,89
AC	39	35	11	20	36	25	10	5	5	15	10	211	19,18	0,65
RR	10	12	22	12	11	12	10	12	7	9	11	128	11,64	0,40
AM	11	12	13	5	7	10	8	4	2	10	3	85	7,73	0,26
DF	4	8	5	4	1	2	11	5	7	9	6	62	5,64	0,20
AP	4	4	6	6	5	1	3	2	5	3	3	42	3,82	0,13
TOTAL	5008	4834	4768	3737	3080	2605	2623	1614	1527	1410	1213	32419	2947,18	100

6.5.1 Aspectos socioeconômicos dos acidentes

Entre 2011 e 2021, as 32.419 colisões veiculares com fauna em rodovias federais no Brasil envolveram 36.827 veículos e 52.902 pessoas, sendo que destas 20.059 (37,92%) precisaram de algum tipo de atendimento médico (incluindo ferimentos leves e graves) e 1.064 (2,01%) perderam a vida. Com base no cálculo do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA) do custo médio de um acidente rodoviário no Brasil, estimamos que durante esse período as colisões entre veículos e animais custaram mais de dois bilhões de reais, com

média anual de R\$214.275.768. Os aspectos gerais e econômicos destas colisões em cada cenário, estão apresentados na TABELA 9.

TABELA 9 – Aspectos gerais e socioeconômicos dos acidentes.

	Brasil	Paraná	BR-277	Serra
Valores absolutos				
Quilometragem	75.800	4.000	730	78
Total de acidentes	32.419	1.745	454	107
Total de veículos	36.827	2.070	549	130
Total de pessoas	52.902	2.852	740	166
Total de Feridos	20.059	1254	292	81
Total de Mortos	1.064	38	9	3
Custos estimados*	R\$2.357.033.445	R\$126.870.766	R\$ 33.008.211	R\$ 7.779.468
Valores médios anuais				
Média acidentes/ano	2.947,18	158,64	41,27	9,73
Média pessoas/ano	4.809,27	259,27	67,27	15,09
Média feridos/ano	1.823,55	114,00	26,55	7,36
Média mortos/ano	96,73	3,45	0,82	0,27
Média de veículos/ano	3.347,91	188,18	49,91	11,82
Média pessoas/acidente	1,63	1,63	1,63	1,55
Média feridos/acidente	0,62	0,72	0,64	0,76
Média mortos/acidentes	0,03	0,02	0,02	0,03
Média veículos/acidente	1,14	1,19	1,21	1,21
Custo médio anual *	R\$214.275.768,00	R\$11.533.706,00	R\$3.000.746,00	R\$707.224,00
Taxas				
Porcentagem de feridos	37,92 %	43,97 %	39,46 %	48,80 %
Porcentagem de mortos	2,01 %	1,33 %	1,22 %	1,81 %
Taxa Acidentes**	0,04	0,04	0,06	0,12
Taxa Pessoas **	0,06	0,06	0,09	0,19
Taxa Veículos**	0,04	0,05	0,07	0,15

* Com base em estimativas do IPEA (2015) de R\$ 72.705,31 como custo médio por acidente de trânsito

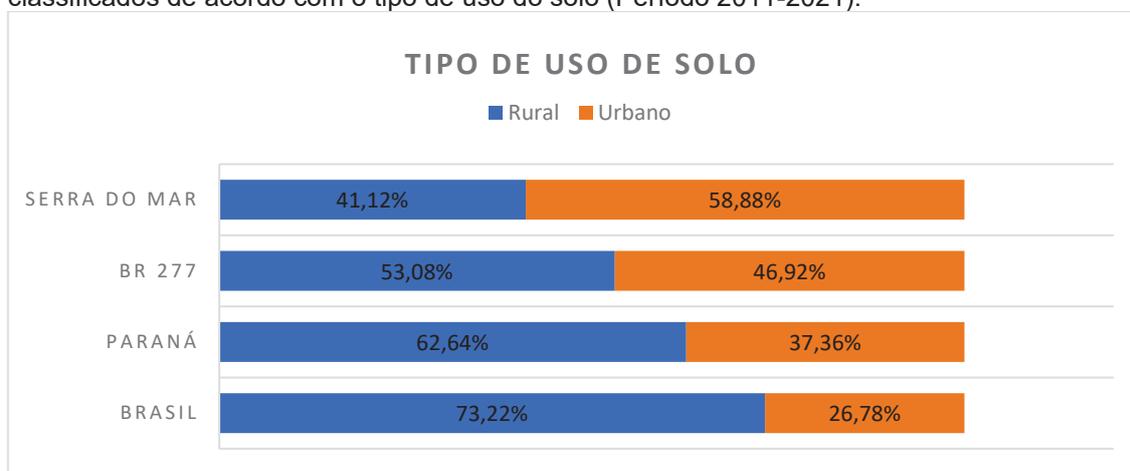
** Calculada através da média registrada dividida pelo número de quilômetros do cenário em questão

A fim de compararmos os diferentes cenários sem a interferência da diferença de quilometragem, calculamos as taxas de acidentes, número de pessoas e veículos através da fórmula: média anual / quilometragem. A partir do cálculo dessas taxas, pudemos observar que o trecho da BR-277 localizado na Serra do Mar paranaense, apresentou as maiores ocorrências de acidente, bem como envolvimento de pessoas e veículos.

6.5.2 Influências da Paisagem e Características da Pista

No trecho da Serra do Mar Paranaense, 58,88% (n=63) dos acidentes de trânsito causados por animais nas rodovias federais aconteceram em área urbana enquanto 41,12% (n=44) aconteceram em área rural ou não urbanizada. A proporção entre acidentes em área rural e urbana vai se invertendo conforme ampliamos o cenário, chegando a 73,22% (n=23.736) dos eventos em escala nacional ocorrendo em áreas rurais (FIGURA 11).

FIGURA 11 – Acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais classificados de acordo com o tipo de uso do solo (Período 2011-2021).



Uma mesma inversão pode ser observada em relação ao tipo de pista onde os acidentes ocorreram (FIGURA 12). Enquanto no Brasil a maior parte dos acidentes ocorreram em pista simples (74,16%, n=24.042), no trecho da Serra do Mar, 81,30% (n=87) dos acidentes ocorreram em pista dupla. Já em relação ao tipo de traçado da via, independentemente do cenário analisado a maior parte dos acidentes ocorreram em traçados retos, como pode ser observado na FIGURA 13.

Figura 12 – Acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais classificados de acordo com o tipo de pista (Período 2011-2021).

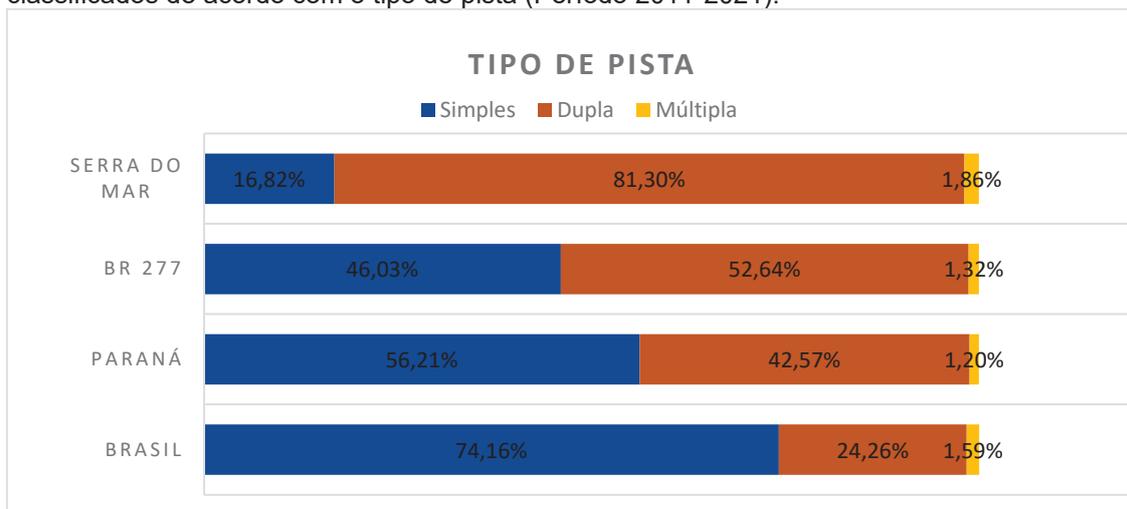
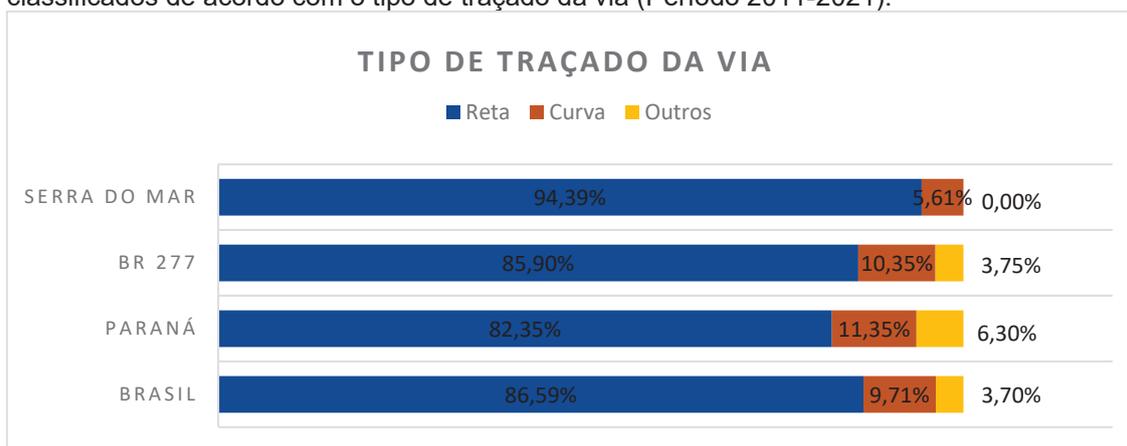


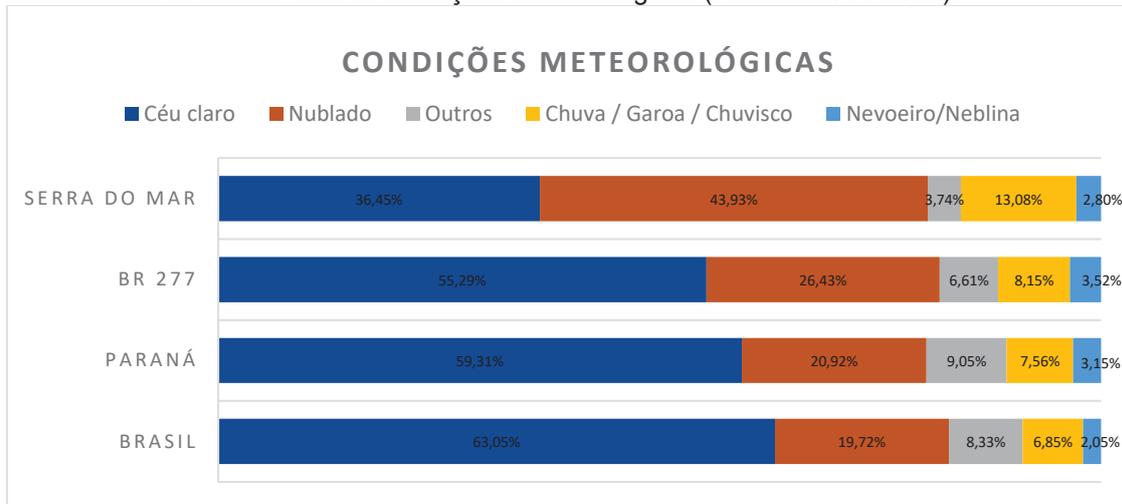
FIGURA 13 – Acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais classificados de acordo com o tipo de traçado da via (Período 2011-2021).



6.5.3 Influências Climáticas e Sazonais

Em relação as condições meteorológicas no momento dos acidentes (FIGURA 14), para os três cenários mais amplos a maioria dos acidentes ocorreu nas condições “céu claro” (Brasil: 63,05%, n=20.440; Paraná: 59,31%, n=1.035; BR-277: 55,29%, n=251). Já para o trecho da Serra do Mar, a maior parte dos acidentes (43,93%, n=47) ocorreram em condições de tempo nublado.

FIGURA 14 – Acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais classificados de acordo com as condições meteorológicas (Período 2011-2021).



Em relação a distribuição das ocorrências ao longo dos meses (FIGURA 15) e estações do ano (FIGURA 16), os cenários para o Brasil, Paraná e BR-277 apresentaram um perfil sazonal com uma maior concentração das colisões nos períodos de temperaturas mais baixas. Já para o trecho da rodovia BR-277 localizado na Serra do Mar, os acidentes se intensificaram na primavera e outono.

FIGURA 15 – Distribuição mensal dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais (Período 2011-2021).

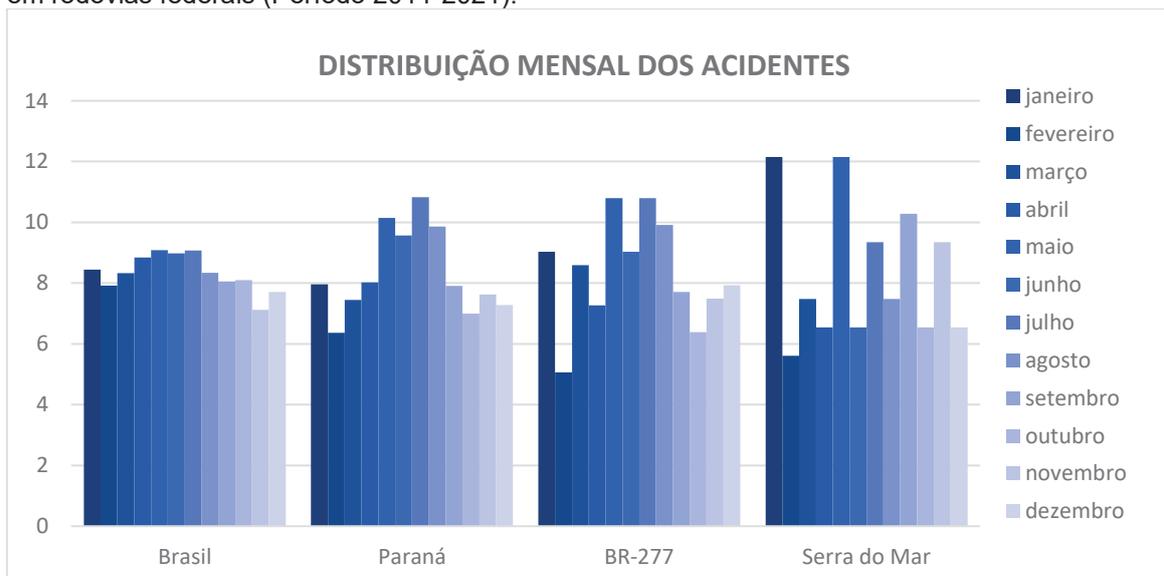
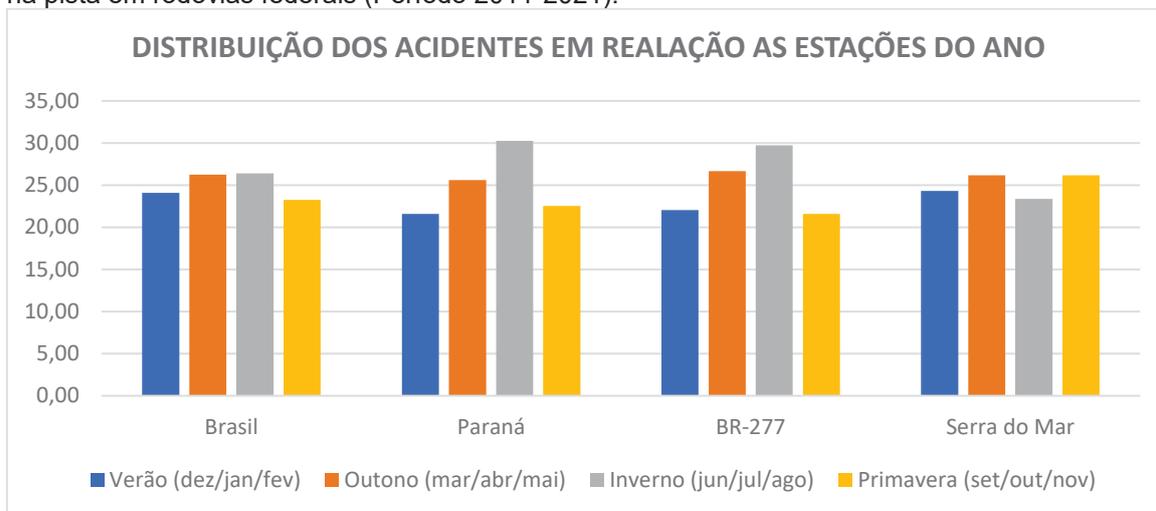


FIGURA 16 – Distribuição por estação do ano dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais (Período 2011-2021).



Em relação aos dias da semana, embora em uma visão geral a maior parte dos acidentes para todos os cenários tenha ocorrido em dias da semana, como mostra a FIGURA 17, tanto no cenário nacional quanto no estadual, o dia da semana com a maior porcentagem de acidentes foi o domingo (FIGURA 18). Já para a rodovia BR-277, tanto no trajeto total quanto no trecho da Serra do Mar, os dias com maior ocorrência de acidentes foram dias da semana, sendo segunda e quarta-feira no trajeto total e quarta e quinta-feira no trecho da Serra do Mar.

FIGURA 17 – Distribuição dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais em relação aos fins de semana e dias da semana (Período 2011-2021).

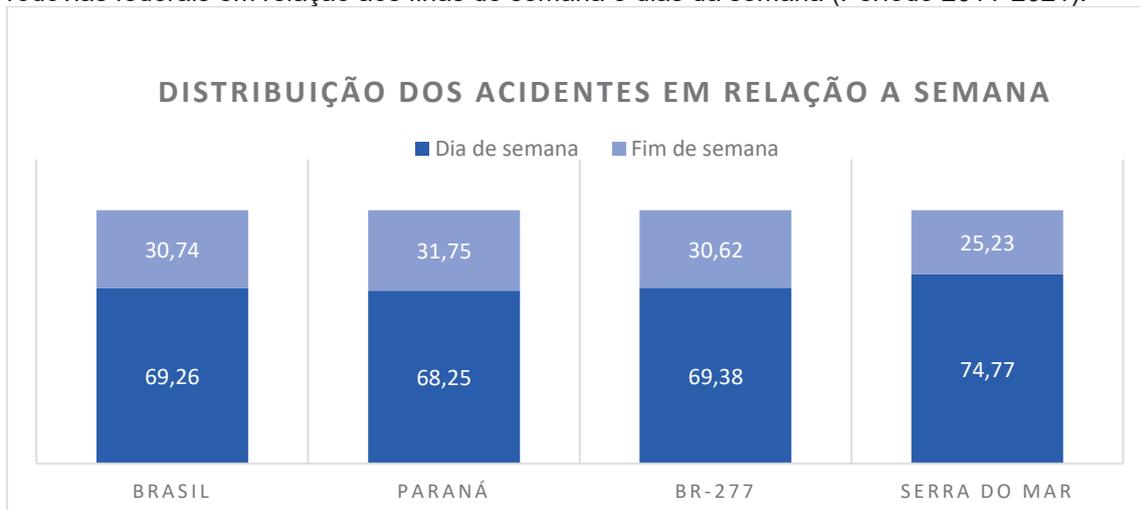
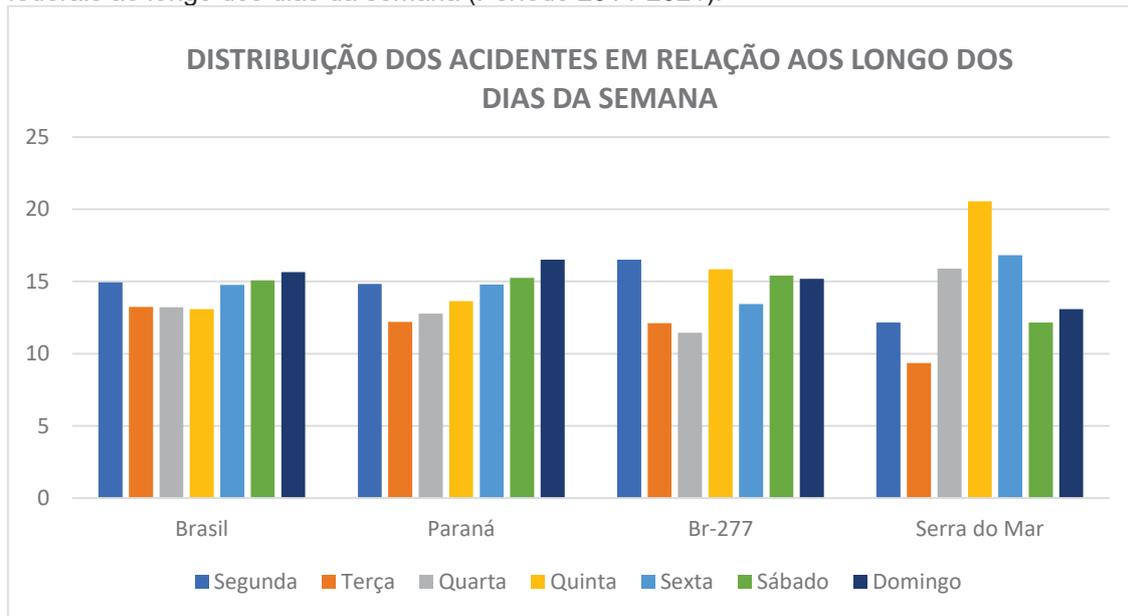
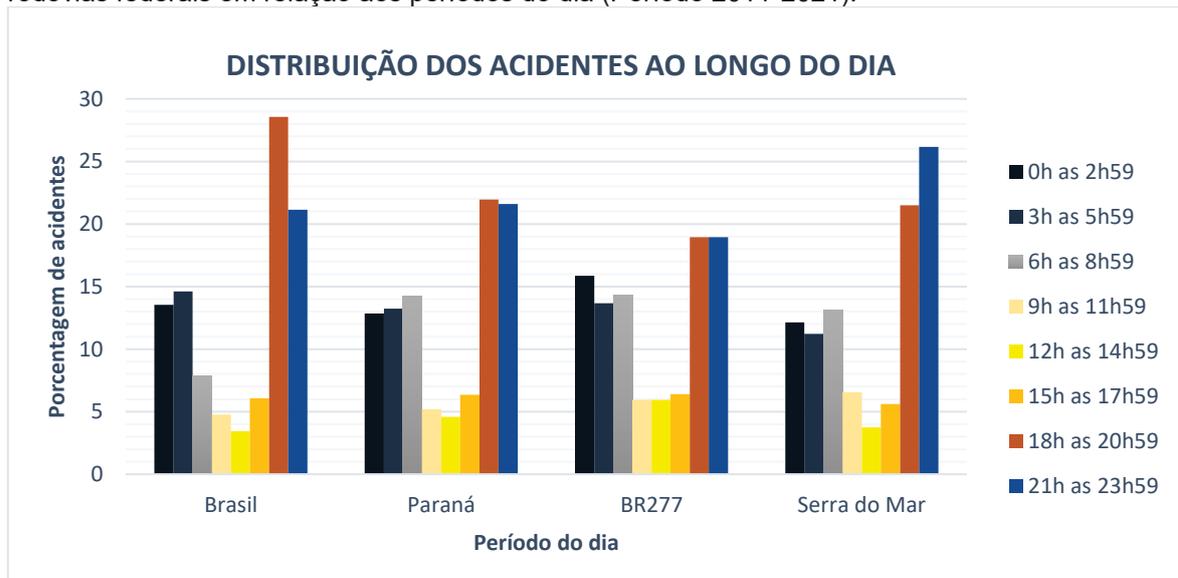


FIGURA 18 – Distribuição dos acidentes causados pela presença de animais em rodovias federais ao longo dos dias da semana (Período 2011-2021).



Já em relação ao período do dia em que os acidentes ocorreram, pode ser observado uma concentração das ocorrências no entardecer (18h as 20h59) e período noturno em todos os cenários (FIGURA 19). Os períodos mais quentes do dia, divididos nas três categorias entre 9h e 17h59 concentraram os menores índices de acidentes, com a faixa de horário entre 12h e 14h59 apresentando as porcentagens mais reduzidas.

FIGURA 19 – Distribuição dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais em relação aos períodos do dia (Período 2011-2021).

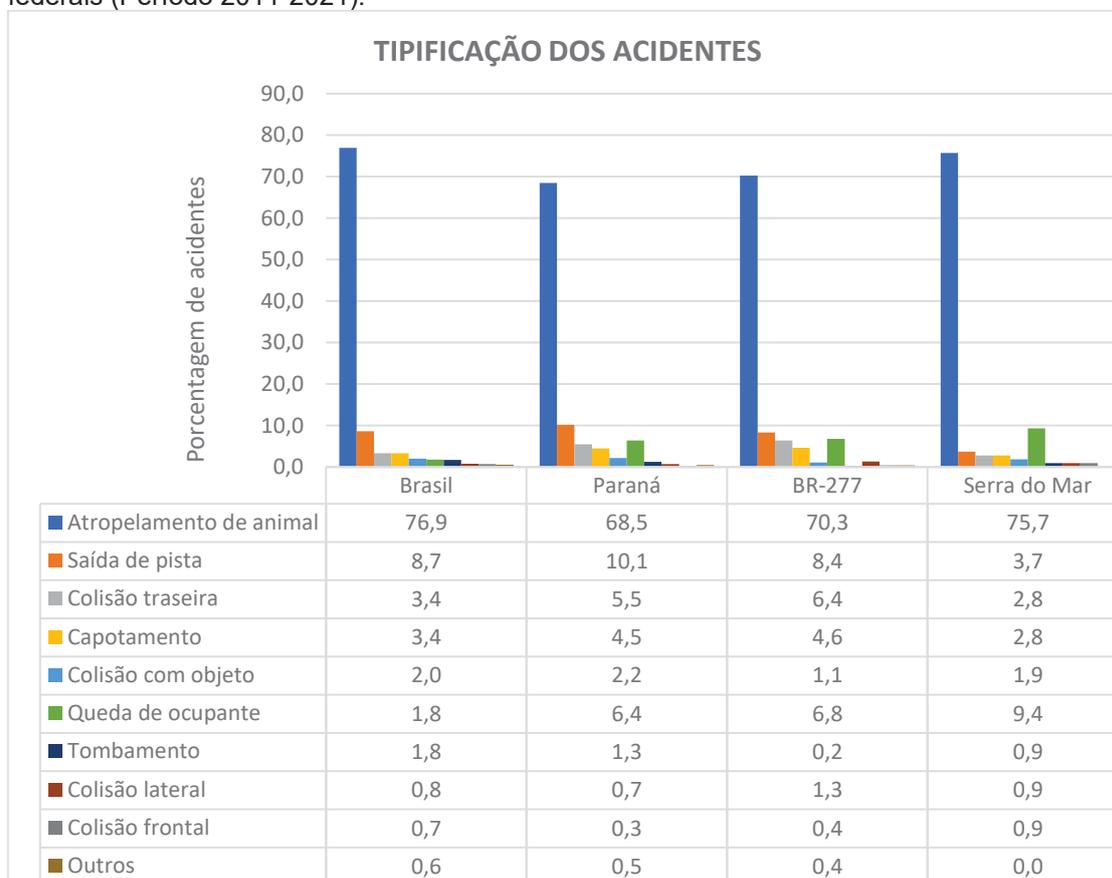


6.5.4 Tipificação e Classificação dos acidentes

Em relação ao tipo de acidente causado pela presença de animais na pista (FIGURA 20), a grande maioria dos eventos foi classificado como “Atropelamento de Animal” (Brasil: 76,9%, n=24.945; Paraná: 68,5%, n=1.195; BR-277: 70,3%, n=319; Serra do Mar: 75,7%, n=81). Os outros tipos de acidentes somaram um número bem menor de eventos, sendo a categoria “Saída da Pista” a segunda maior nos cenários nacional (8,7%, n=2.810), estadual (10,14%, n=177) e na extensão total da rodovia BR-277 (8,37%, n=38).

Já o trecho da BR-277 localizado na Serra do Mar paranaense, teve como segunda maior ocorrência acidentes do tipo “queda de ocupante do veículo” (9,34%, n=10). Neste trecho, a categoria “saída da pista” ficou em terceira posição com 3,7% das ocorrências (n=4). A categoria “queda de ocupante do veículo” ocupou a terceira posição tanto no cenário da rodovia BR-277 (6,8%, n=31) quanto no cenário estadual como um todo (6,4%, n=112).

FIGURA 20 – Tipificação dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais (Período 2011-2021).



Em relação a classificação de acordo com a gravidade (FIGURA 21), os acidentes causados por animais na pista foram classificados em quatro categorias, sendo que para o cenário nacional e a extensão completa da rodovia BR-277, os acidentes sem vítimas foram os mais frequentes (Brasil: 55,75% n=18.072; BR-277: 51,54% n=234). Já os acidentes com vítimas feridas foram os mais comuns no cenário estadual (50,89%, n=888) e no trecho da Serra do Mar (54,21%, n=58). Os acidentes com vítimas fatais foram os menos comuns em todos os cenários. No cenário nacional, 2,96% dos acidentes foram classificados como com vítimas fatais resultando na morte de 960 pessoas entre os anos de 2011 e 2021. Para uma avaliação das mudanças de padrões na quantidade e gravidade dos acidentes ao longo dos onze anos estudados, foi realizada uma análise para cada um dos cenários propostos (FIGURAS 22 a 25).

FIGURA 21 – Classificação de gravidade dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais (Período 2011-2021).

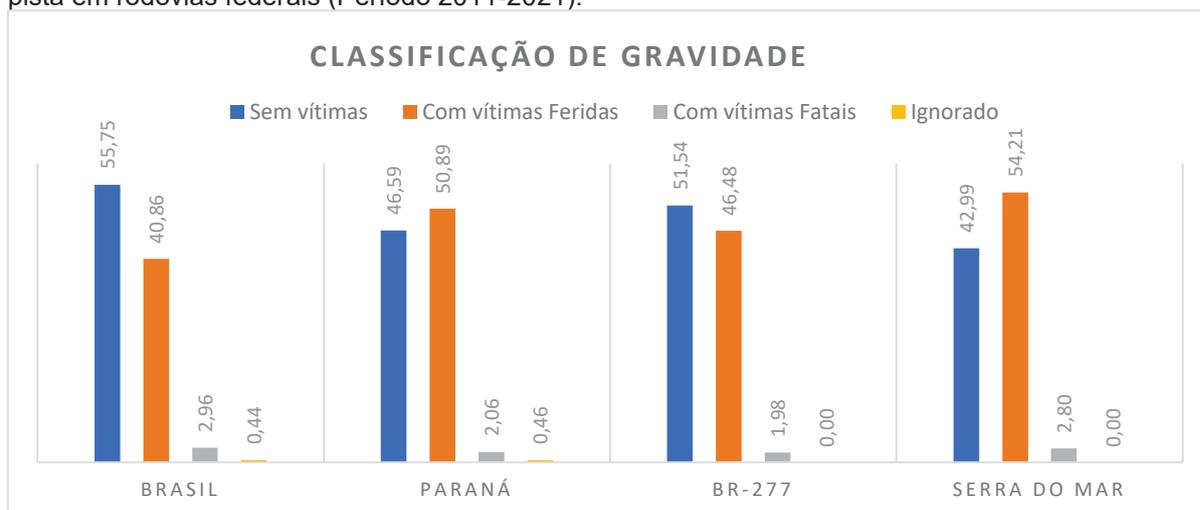


FIGURA 22 – Variação temporal da gravidade dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais brasileiras (Período 2011-2021).

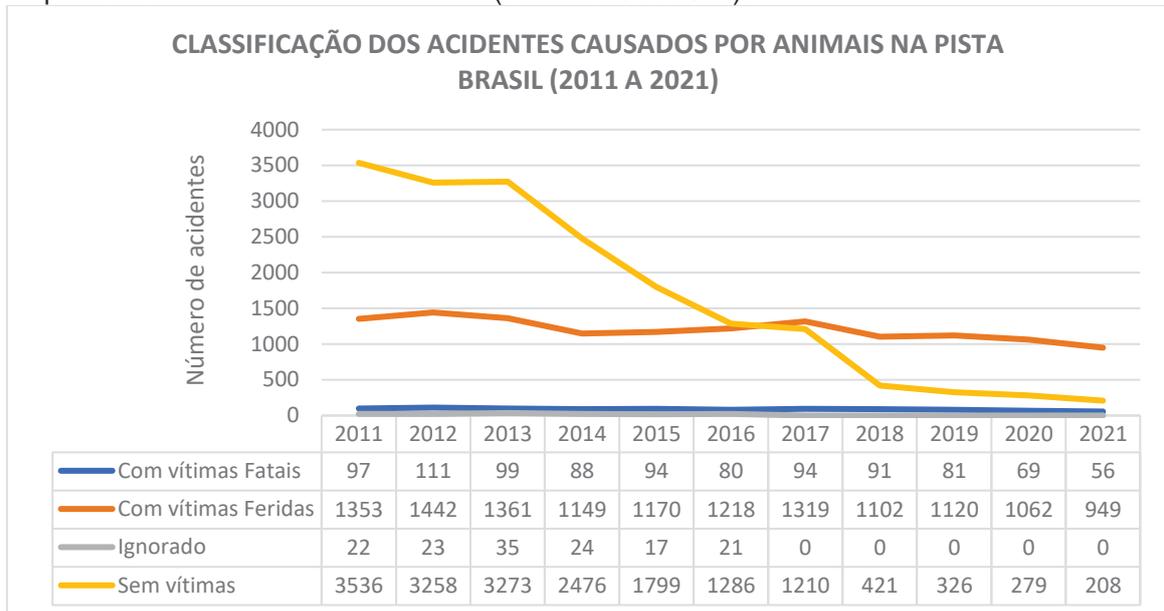


FIGURA 23 – Variação temporal da gravidade dos acidentes causados pela presença de animais na pista em rodovias federais no estado do Paraná (Período 2011-2021).

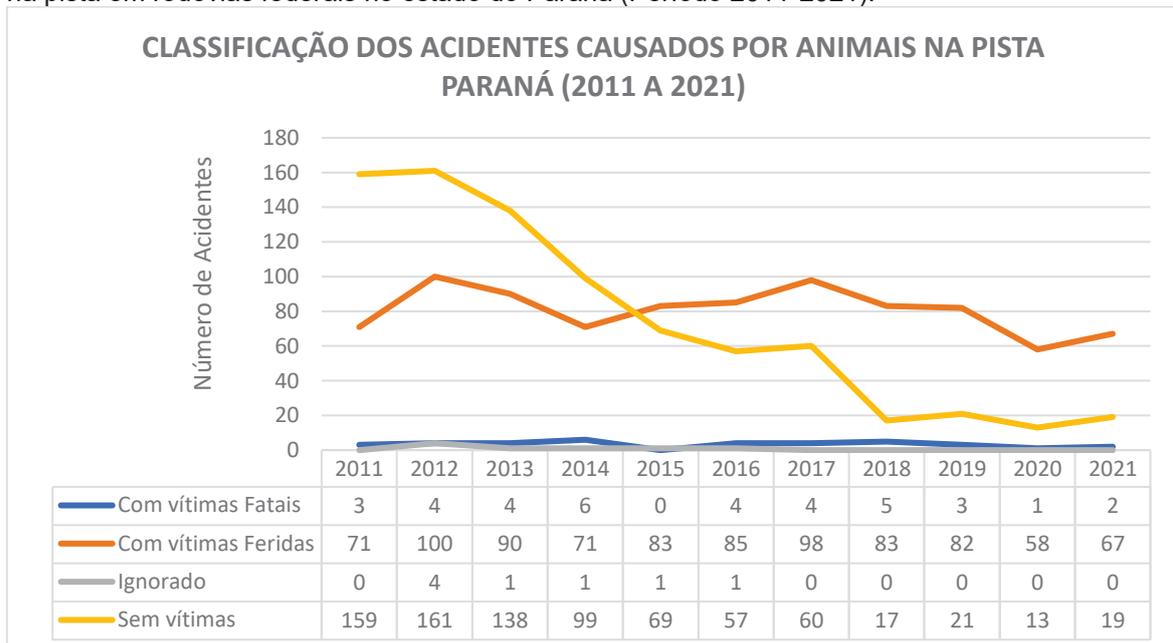


FIGURA 24 – Variação temporal da gravidade dos acidentes causados pela presença de animais na pista na rodovia federal BR-277 (Período 2011-2021).

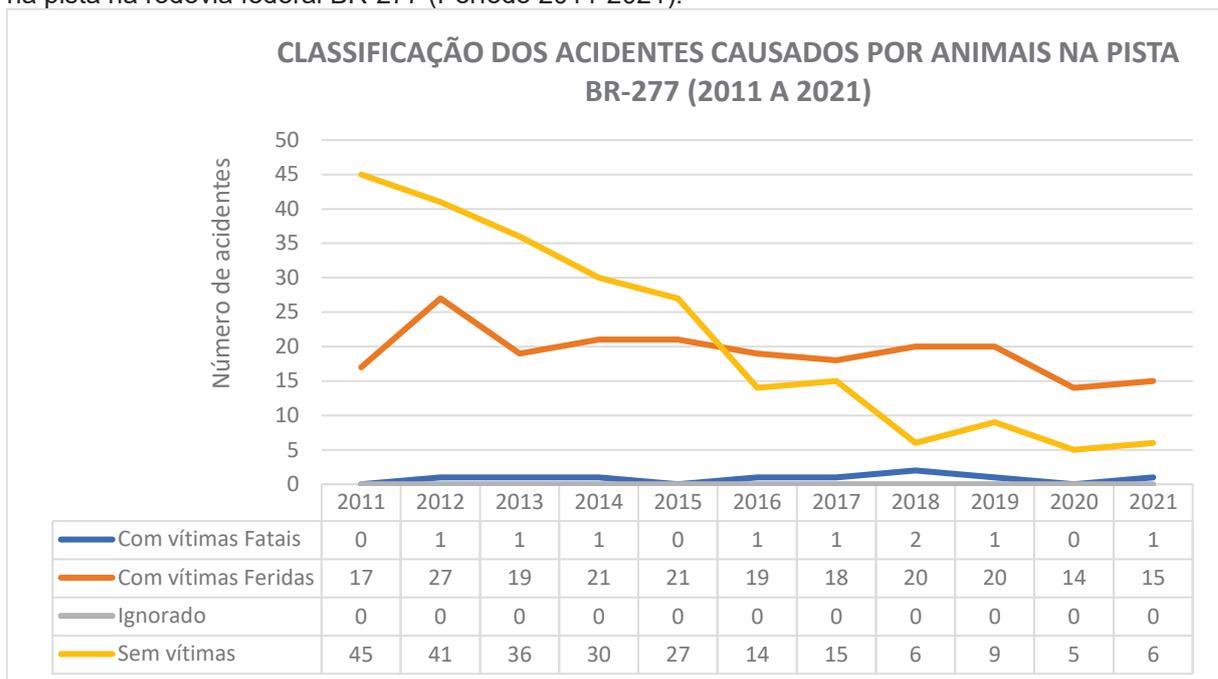
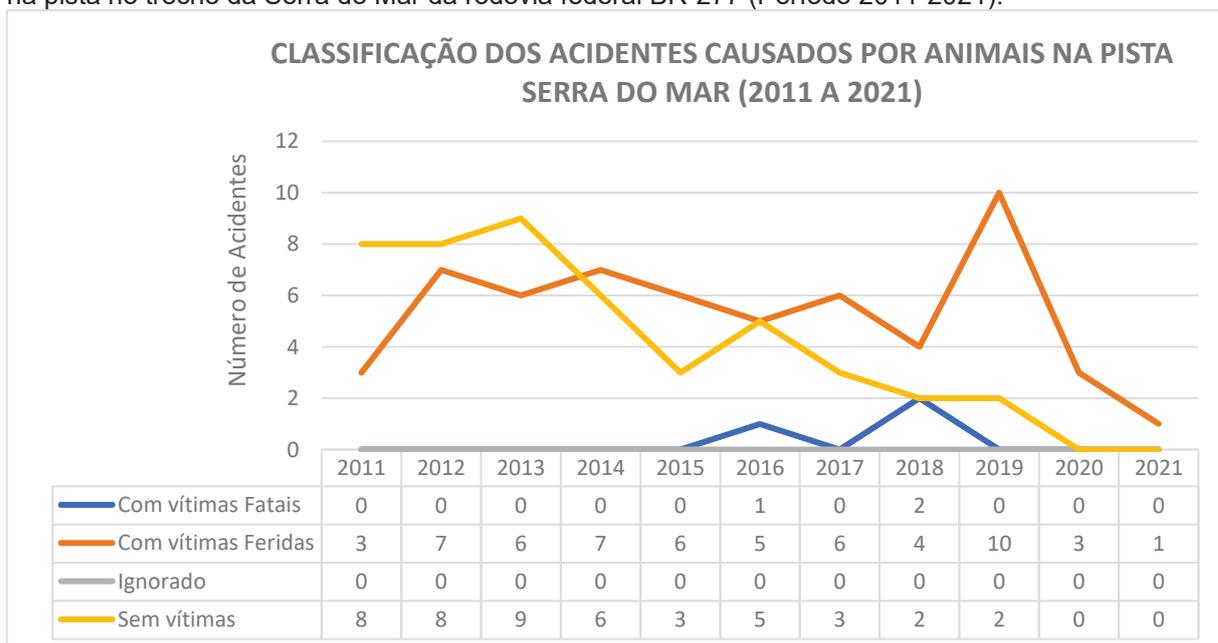


FIGURA 25 – Variação temporal da gravidade dos acidentes causados pela presença de animais na pista no trecho da Serra do Mar da rodovia federal BR-277 (Período 2011-2021).



6.5.5 Distribuição dos acidentes causados pela presença de animais na pista na Serra do Mar Paranaense

Ao longo do período analisado, os eventos não se distribuíram homogeneamente no trecho estudado definido como “Serra do Mar”. Ao realizarmos a análise da paisagem ao longo dos 78 quilômetros do trecho, 7 trechos distintos puderam ser observados quando levados em conta: tipo e características da pista, ocupação humana e altitude. Como os trechos possuíam diferenças em extensão, foi calculada uma taxa de número de eventos por quilometro para que fosse possível a comparação entre as áreas. Conforme pode ser observado na TABELA 10, os locais com maior ocorrência de eventos estão ligados as áreas urbanas dos municípios de Paranaguá e São José dos Pinhais.

TABELA 10 – Distribuição dos acidentes de trânsito causados pela presença de animais nas rodovias federais ao longo do trecho da Serra do Mar da rodovia BR-277 entre os anos de 2011/2021.

Trecho (km)	Tipo de Pista	Descrição da área	Extensão do trecho	Acidentes	Taxa (eventos/km)
0 a 4,7	Simples reta	Área urbana de Paranaguá	4,7	18	3,83
4,7 a 6,5	Dupla reta	Área periurbana Paranaguá até PR-407	1,8	4	2,22
6,5 a 9,9	Dupla reta	Trecho entre PR-407 e PR-508	3,4	8	2,35
9,9 a 23,8	Dupla reta	Trecho entre PR-508 até PR-408 entrada Morretes	13,9	10	0,72
23,8 a 29	Dupla reta	Trecho entre PR-408 e PR-804	5,2	5	0,96
29 a 60	Dupla curva	Trecho de Serra (entre PR-408 e pedágio)	31	7	0,23
60 a 67,8	Dupla reta	Área periurbana de São José dos Pinhais (pedágio até Piraquara)	7,8	12	1,54
67,8 a 78	Dupla reta	Área urbana de São José dos Pinhais (Entrada de Piraquara até Curitiba)	10,2	42	4,12

6.6 DISCUSSÃO

Durante o período de onze anos analisados (2011 a 2021) a base BAT da PRF incluiu 1.305.730 acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, sendo que 32.419 deles (2,48%) foram causados pela presença de animais na

pista, com uma média de 2.947 eventos por ano. Essa proporção é inferior a encontrada por Langley, Higgins e Herrin (2006) nos Estados Unidos. Esta tendência pode estar relacionada ao fato de que a maior parte das colisões veiculares com animais neste país envolvem animais de maior porte, como cervídeos (LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006). Conseqüentemente, estes acidentes acabam sendo mais graves e com maiores prejuízos econômicos. No Brasil, são mais comuns acidentes causados por animais de pequeno e médio porte, nem sempre são notificados e/ou detectados pelas autoridades de trânsito. A maior parte das notificações ocorrem apenas quando há interdição da pista, feridos e vítimas fatais ou grandes prejuízos aos veículos, onde seguradoras devem ser acionadas (ABRA *et al.*, 2019).

Os dados deste estudo são relativos apenas aos acidentes que ocorreram em rodovias federais, abrangendo apenas 4,4% da malha viária do país, que totaliza 1.720.700 quilômetros quando somadas rodovias federais, estaduais e municipais. A TABELA 11 compara os dados encontrados nesse trabalho e extrapolados para a malha viária total brasileira com trabalhos semelhantes em outros países. Caso a malha viária estadual e municipal sigam os mesmos padrões encontrados neste estudo, poderíamos esperar para o país médias anuais de 66.981 colisões veiculares com fauna, com números de veículos e pessoas descritos na TABELA 11.

TABELA 11 – Extrapolação das médias das rodovias federais para a extensão total da malha viária brasileira.

Média anual	Rodovias Federais (4,4%)	Extrapolação malha viária total (100%)
No. de acidentes	2.947	66.981
Pessoas envolvidas	4.809	109.301
No. feridos	1.823	41.444
No. mortos	96	2.198
Veículos envolvidos	3.347	76.088

A partir do número de acidentes causados pela presença de animais na pista e do conhecimento da extensão da malha viária federal (75.800km), foi possível calcularmos uma taxa para o período de 0,42 acidentes/quilômetro de rodovia. O Paraná foi o sexto estado com maior número de acidentes com esta causa, totalizando 1.745 eventos para o período, ou seja, 5,38% dos eventos nacionais. Em relação a taxa de eventos por quilômetro de malha viária, durante

o período de estudo o estado apresentou uma taxa bastante similar à nacional, de 0,43 eventos/quilômetro de rodovia.

A BR-277 é uma rodovia federal com cerca de 730km de extensão e que atravessa o estado do Paraná, de leste a oeste, com início no Porto de Paranaguá e término na Ponte da Amizade, em Foz do Iguaçu (LIMA e DIAS, 2008). Apesar de representar apenas 18,39% da extensão total da malha viária federal do estado (PARANÁ, 2022), a BR-277 concentrou 26,01% do total estadual dos acidentes causados pela presença de animais. A taxa de ocorrência foi de 0,06 eventos/quilômetro/ano, um número expressivo quando comparada ao cenário estadual e nacional (ambas de 0,04). Este fato pode ser parcialmente justificado pelo alto fluxo de veículos que a rodovia apresenta, uma vez que a BR-277 é considerada a principal via rodoviária do Paraná e uma das mais importantes do Brasil, por ser conhecida como o “corredor do Mercosul” (BALBO *et al.*, 2010). Além disso, desempenha ainda um importante papel no escoamento de produtos agropecuários produzidos no sudoeste do Paraná (BALBO *et al.*, 2010).

Apesar de contribuir com apenas 10,68% da extensão total da rodovia BR-277, o trecho da Serra do Mar concentrou 23,56% dos eventos estudados, sendo o cenário com a maior taxa de ocorrência para o período: 0,12 eventos/quilômetro/ano. Balbo e colaboradores (2010), ao analisarem a concentração de acidentes rodoviários na BR-277, também encontraram o trecho inicial de 75km como sendo o de maior concentração de acidentes. Além de uma concentração de acidentes de uma maneira geral devido as particularidades geográficas da região de Serra, o aumento da taxa de acidentes causado pela presença de animais na pista poderia ser parcialmente justificado pelo fato de que o trecho em questão está inserido em uma importante área ainda contínua de Mata Atlântica, bioma que abriga grande diversidade de fauna (MYERS *et al.*, 2000). Porém, devido ao fato de que os boletins de ocorrência não diferem entre animal domésticos e silvestres, essa afirmação deve ser feita de maneira cautelosa e requer aprofundamento em estudos futuros.

A fim de uma melhor compreensão da situação, foi realizado a análise da distribuição dos eventos ao longo do trecho (TABELA 10), onde pode ser observada que as maiores taxas de ocorrência estão nas zonas urbanas dos municípios de Paranaguá e São José dos Pinhais (taxas de 3,83 e 4,12

eventos/quilometro, respectivamente). Estes dados sugerem que os eventos podem estar relacionados a presença de animais domésticos na pista, porém devido à ausência desta informação nos registros, estudos futuros se fazem necessário.

Em relação a influência da paisagem, foi observada a predominância dos acidentes desse tipo em áreas rurais em três dos quatro cenários estudados. Este resultado também foi encontrado por Tavares e colaboradores (2017), que não só relataram 72% dos eventos ocorrendo nesse tipo de paisagem, como também a maior parte dos óbitos (73%). Langley, Higgins e Herrin (2006) também descrevem 90% dos acidentes com animais nos Estados Unidos em região rural.

O único cenário onde os acidentes ocorreram mais em área urbana, foi na Serra do Mar, o que a princípio causa estranheza devido ao fato de que a maior parte da extensão do trecho se encontra em regiões de entorno de unidades de Conservação. Os dados da análise da distribuição dos eventos por trecho sugerem que estes acidentes são possivelmente ocasionados pela presença de animais domésticos nas áreas urbanas dos municípios de Paranaguá e São José dos Pinhás, mas conforme já mencionado, deve-se ter cautela nessa interpretação, uma vez que esta afirmação não pode ser confirmada nos boletins de ocorrência.

Outra informação não existente nos boletins é em relação ao tipo de pavimentação da pista. A malha rodoviária federal do Brasil possui atualmente extensão total de 75,8 mil km, dos quais 65,4 mil km correspondem a rodovias pavimentadas e 10,4 mil km correspondem a rodovias não pavimentadas. Devido à ausência desta informação, este estudo não abrange aspectos relativos ao tipo de pavimentação.

Enquanto no Brasil a maior parte dos acidentes ocorreram em pista simples, no trecho da Serra do Mar 81,30% dos acidentes ocorreram em pista dupla, o que é esperado uma vez que a grande maioria do trajeto (93,97%) é composta por este tipo de pista. Mesmo assim, o trecho de 4,7 quilômetros de pista simples localizado na área urbana de Paranaguá apresentou a segunda maior taxa de eventos do cenário da Serra do Mar. Já em relação ao tipo de traçado da via, independentemente do cenário analisado a maior parte dos acidentes ocorreram em traçados retos.

Em relação as condições meteorológicas no momento dos acidentes, a maioria dos acidentes ocorreu nas condições “céu claro” para os três cenários mais amplos, enquanto na Serra do Mar Paranaense também houve predominância de condições de tempo nublado. Estes resultados também foram encontrados por Ramp e Roger (2008) em estudos na Austrália, que relataram 81,7% dos acidentes ocorrendo em condições meteorológicas classificadas como “boas”, incluindo 95,5% dos acidentes que resultaram em mortes humanas. Colisões com animais geralmente ocorrem de frente, sugerindo que o motorista foi pego de surpresa, não viu o animal, ou não estava preparado para o encontro (LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006). Embora sejam necessários estudos sobre esta hipótese, o fato de que boa parte das CVF ocorrem em trechos de reta e condições climáticas favoráveis pode sugerir que nestas condições o motorista esteja menos atento, mais relaxado aos perigos da via e em uma velocidade maior, o que potencializa as chances de acidente.

Em relação a variação sazonal, para o trecho da rodovia BR-277 localizado na Serra do Mar, os acidentes se intensificaram na primavera e outono, porém com alta variação entre os meses, o que pode ter sido causado pelo número de eventos relativamente menores do que os dos cenários mais amplos. Os acidentes no Brasil, Paraná e BR-277 apresentaram uma maior concentração das colisões nos períodos de temperaturas mais baixas e noites mais longas, com maior período sem incidência de luz solar, o que favorece a movimentação de diversas espécies (RAMP e ROGER, 2008).

O padrão mais evidente encontrado neste estudo foi a maior concentração dos eventos durante o entardecer e início da noite. O período entre anoitecer e alvorecer também é relatado em outros países como sendo o que concentra a maior ocorrência desse tipo de evento (LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006; CANAL *et al.*, 2018). Fatores relacionados à fenologia das espécies, como reprodução e forrageamento, tem sido propostos na literatura como forma de explicar a variação sazonal, tanto ao longo do ano como no decorrer do dia, dos eventos de atropelamentos de animais. Por exemplo, os atropelamentos de mamíferos são correlacionados a temperatura e parecem estar ligados aos padrões de atividades dos animais que geralmente diminuem em extremos de temperatura (GARRIGA *et al.*, 2017).

Além de fatores ligados ao comportamento dos animais, pode-se atribuir como justificativa para a concentração dos acidentes ao longo da plena noite o cansaço dos condutores e, mais ainda, a baixa visibilidade durante o período noturno, que reduz efetivamente a capacidade defensiva dos motoristas, caso estes se deparem com uma situação de possível colisão com fauna (LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006). Portanto, soluções como melhorias iluminação noturna em áreas já antropizadas ou conscientização do motorista sobre as condições de maior ocorrência de colisões veiculares com fauna devem ser considerados (WILKINS; KOCKELMAN; JIANG, 2019).

Em relação a quantidade de acidentes, apesar de um conhecido aumento na frota de veículos (IPEA, 2015) e de um esperado aumento no número de acidentes como o ocorrido em outros estudos (LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006), em nossos estudos o número total de acidentes diminuiu em todos os cenários. Isto pode dar indícios em um aumento na segurança nos veículos devido a tecnologias, como por exemplo os freios ABS, e/ou uma maior responsabilidade no comportamento dos motoristas (ABRA et al., 2019).

Apesar de a quantidade de ocorrências apresentar tendência de queda a partir de 2013, os dados demonstram uma maior diminuição nos acidentes classificados como “sem vítimas” enquanto os classificados como “com vítimas feridas ou fatais” permaneceram estáveis. Ou seja, pode-se deduzir que ocorreu um aumento da proporção da severidade dos acidentes e número de óbitos de seres humanos em relação ao número total de acidentes. Considerando que este estudo analisou somente os casos nas rodovias federais, excluindo os registros nas estradas estaduais e municipais brasileiras, acredita-se que os resultados representam subestimativas da quantidade e letalidade dos acidentes no território nacional. Nesse sentido, as perdas de vidas humanas bem como a morte de animais fundamentam a necessidade de se conhecer os cenários desse tipo de acidente também nas estradas estaduais e municipais.

Para o trecho estudado, 56,6% das colisões-veiculares com fauna resultaram em algum grau de lesão/ferimento ou morte. Essa proporção é bem maior do que a encontrada por Abra e colaboradores (2019), de 18,5%, e mais elevada do que a média brasileira, de 40,9% (IPEA). Embora não exista um campo nos registros que possibilite a identificação do tipo de veículo envolvido, este cenário também foi o que apresentou a maior porcentagem dos acidentes

sendo registrados como do tipo “queda do ocupante do veículo”, podendo dar indícios de que um elevado número de acidentes com veículos de duas rodas (motocicletas e bicicletas) nesse cenário. Abra e colabores (2019) identificaram que mais de 90% dos acidentes com bicicletas/motocicletas resultaram em lesões/mortes. Sendo 46,8% das mortes ocorridas nos acidentes com motocicletas. Devido à ausência desse campo nos boletins de ocorrência disponibilizados pela polícia rodoviária federal, não pudemos fazer essa comparação, porém deixamos como forte sugestão que seja inserido nos boletins um campo para preenchimento de dados sobre o tipo de veículo envolvido para que futuramente esses dados possam ser analisados e considerados.

Abra e colaboradores (2019) ressaltam como os principais fatores para a taxa relativamente alta de lesões humanas em acidentes envolvendo animais no país a provável ausência e/ou uso baixo de equipamentos de segurança como capacetes, cinto de segurança e airbags; projetos de estradas com pistas de rodagem e acostamentos estreitos; estilo de direção perigosa e; alto tempo de respostas dos serviços de atendimento a emergências. Todos esses fatores devem ser avaliados para que possam ser implantadas as ações mais efetivas de segurança viária, não só no contexto do atropelamento de fauna, mas também de uma maneira geral.

As diferenças e semelhanças entre os cenários analisados, demonstram a necessidade de se entender não só os padrões globais na ocorrência dos eventos, mas também as peculiaridades de cada região. A compreensão destas informações pode ser considerada como primeiro passo para a sugestão e implantação de medidas que tornam as estradas locais mais seguros para seres humanos e animais. Um resumo das condições mais frequentemente encontradas em cada cenário desse estudo, pode ser observado na TABELA 12, e a partir dela e de outros questionamentos surgidos ao longo de nossas análises, foram elaboradas sugestões de novos estudos e medidas de enfrentamento ao problema visando estradas mais seguras para seres humanos e animais.

TABELA 12 – Condições mais prováveis para ocorrência de acidentes rodoviários causados por animais na pista em cada um dos cenários estudados (período 2011-2021).

Categoria	Critério	Brasil	Paraná	BR-277	Serra do Mar
Influência da Paisagem e Características da Pista	Cobertura do solo	Rural (73,22%)	Rural (62,64%)	Rural (53,08%)	Urbana (58,88%)
	Tipo de Pista	Simples (74,16%)	Simples (56,21%)	Dupla (52,64%)	Dupla (81,30%)
	Traçado da via	Reta (86,59%)	Reta (82,35%)	Reta (85,90%)	Reta (94,39%)
Influências Climáticas e Sazonais	Condições Meteorológicas	Céu claro (63,05%)	Céu Claro (59,31%)	Céu claro (55,29%)	Nublado (43,93%)
	Estação do ano	Inverno (26,40%)	Inverno (30,26%)	Inverno (29,74%)	Outono e Primavera (26,17% cada)
	Mês	Maio (9,09%)	Julho (10,83%)	Maio e Julho (10,79% cada)	Janeiro e Maio (12,15% cada)
	Dia da semana	Domingo (15,66%)	Domingo (16,5%)	Segunda (16,52%)	Quinta (20,56%)
	Período do dia	18h as 20h59 (28,56%)	18h as 20h59 (21,95%)	18h as 20h59 e 21h as 23h59 (18,94% cada)	21h as 23h59 (26,17%)
		Atropelamento do animal (76,9%)	Atropelamento do animal (68,5%)	Atropelamento do animal (70,3%)	Atropelamento do animal (75,7%)
Tipificação e Classificação dos acidentes	Classificação do acidente	Sem vítimas (55,75%)	Com vítimas feridas (50,89%)	Sem vítimas (51,54%)	Com vítimas feridas (54,21%)

6.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como contribuição ao uso da base BAT da PRF como ferramenta de análise de perfil epidemiológico das colisões veiculares com fauna sugerimos: 1) a ampliação da divulgação de sua existência, para promover a sua utilização; 2) diferenciação entre fauna silvestre e doméstica e se possível a espécie, o que tem grande potencial de melhoria de análise para elaboração de medidas preventivas e mitigativas; 3) informações sobre tipo de veículo, perfil do motorista (e.g., sexo, idade) e uso de equipamento de segurança como capacetes e cintos, o que possibilitaria uma melhor compreensão epidemiológica e direcionamento de temática e público de campanhas educativas. Também sugerimos a expansão desta ação para os acidentes ocorridos em rodovias municipais e estaduais para que possa ser realizada uma análise completa do cenário, inclusive com pelos órgãos e entidades responsáveis pela saúde humana, uma

vez que a base do Sistema Único de Saúde Brasileiro é unificada e deve ser preparada para atender eventos independente da esfera governamental de ocorrência.

Recomendamos a inserção de dois campos nos boletins de ocorrências de trânsito para que estas possam ser analisadas do ponto de vista da Saúde Única. Primeiramente, deve ser inserido um campo para a identificação da espécie animal e a distinção silvestres/doméstico, uma vez que, devido ao comportamento das espécies, as medidas de prevenção e mitigação para estes dois tipos de acidentes acabem sendo bem diferentes. Esta dificuldade não ocorre apenas no estado do Paraná, tendo em vista que estudos em outros estados (ABRA et al. 2019) ou mesmo em outros países, como os Estados Unidos (WILKINS; KOCKELMAN; JIANG, 2019), trazem como reflexão a importância de uma melhor identificação das espécies envolvidas nos acidentes para aprimorar as proposições de medidas de mitigação.

Em segundo lugar, recomendamos a indicação dos tipos de veículos envolvidos, como forma de identificar grupos focais de motoristas em ações informativas e preventivas. Além da presença dos animais na pista, Tavares e colaboradores (2017) encontraram em seus estudos a falta de atenção dos motoristas como segunda causa do atropelamento de fauna. Embora este tenha sido um aspecto que não pode ser quantificado em nosso estudo, ressaltamos que campanhas de direção defensiva para condutores sejam uma medida bastante importante para a diminuição da quantidade e gravidade desses acidentes, uma vez que um motorista desatento acaba tendo um maior tempo de reação, o que pode ser fatal em colisões com animais.

Reforçamos também a necessidade do controle e redução da população de animais domésticos errantes ao longo de rodovias, bem como de campanhas para a conscientização da guarda responsável sobre as consequências éticas, sociais e econômicas do abandono de animais.

Considerando o trecho da Serra do mar como o cenário mais crítico encontrado, sugerimos medidas mitigatórias específicas, tais quais estratégias educativas para modificação do comportamento humano, seja quando motorista, seja como tutor de animais domésticos com acesso às rodovias; medidas de aumento de segurança, como melhor iluminação de vias, redução de limites de

velocidade, principalmente nos trechos urbanos dos municípios de Paranaguá e São José dos Pinhais.

6.8 CONCLUSÕES

A disponibilidade dos boletins de acidentes de trânsito pela Polícia Rodoviária Federal Brasileira, apesar de pouco conhecida, pode ser considerada como uma ferramenta importante para estudos científicos que podem servir de base tomadas de decisão a respeito de medidas de ação e políticas públicas para diminuir a incidência de acidentes envolvendo animais em estradas. Embora ao longo de nossas análises tenhamos encontrados algumas lacunas de informação, pudemos perceber que os registros podem apresentar um perfil epidemiológico inicial dos fatos ocorridos. O levantamento e compreensão destes padrões é essencial para que estratégias de prevenção e mitigação possam ser tomados.

6.9 REFERENCIAS

ABRA, F. D.; GRANZIERA, B. M.; HUIJSER, M. P.; FERRAZ, M. P. M. B.; HADDAD, C. M.; PAOLINO, R. M. Pay or prevent? Human safety, costs to society and legal perspectives on animal-vehicle collisions in São Paulo state, Brazil. PLoS ONE, San Francisco, v. 14, n. 4, p. 1-22, 2019.

BALBO, F. A. N.; GRAMANI, L. M.; CHAVES NETO, A.; BOOGO, R. L.; MINERVI, N. A. Análise Fatorial Aplicada aos Dados dos Acidentes na BR-277. In: XLII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. Anais: Bento Gonçalves, 2010. p. 1006-1017.

CANAL, D.; MARTÍN, B.; LUCAS, M.; FERRER, M. Dogs are the main species involved in animal-vehicle collisions in southern Spain: Daily, seasonal and spatial analyses of collisions. PLoS ONE, San Francisco, v. 13, n. 9, p. 1-14, 2018.

CAVALCANTE, F. G.; MORITA, P. A.; HADDAD, S. R. Sequelas invisíveis dos acidentes de trânsito: o transtorno de estresse pós-traumático como problema de saúde pública. Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 14, n. 5, p. 1763-1772, 2007.

CONRAD, P. A.; MEEK, L. A.; DUMIT, J. 2013. Operationalizing a One Health approach to global health challenges. Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases, France, n. 36, p. 211-216, 2013.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER). Sistema Rodoviário do Estado do Paraná 2020. Disponível em: https://www.der.pr.gov.br/sites/der/arquivos_restritos/files/documento/2021-06/sre_2020.pdf Acessado em 05 de junho de 2022.

DHAMA, K.; CHAKRABORTY, S.; KAPOOR, S.; TIWARI, R.; KUMAR, A.; DEB, R.; RAJAGUNALAN, S.; SINGH, R.; VORA, K.; NATESAN, S. 2013. One World, One Health – Veterinary Perspectives. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, Giza, v.1, n.1, p. 5-13, 2013.

HILL, J. E.; DEVAULT, T. L.; BELANT, J. L. Cause-specific mortality of the world's terrestrial vertebrates. *Global Ecology and Biogeography*, v. 28, n. 5, p.680-689, 2019.

Instituto de Pesquisas Econômicas Brasileiras (IPEA). Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras – caracterização tendências e custos. Relatório de Pesquisa. 42p. 2015 Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/150922_relatorio_acidentes_transito.pdf Acessado em 09/05/2022 Acesso em 25 de janeiro de 2022.

LANGLEY, R. L.; HIGGINS, S. A.; HERRIN, K. B. Risk Factors Associated with Fatal Animal-Vehicle Collisions in the United States, 1995–2004. *Wilderness and Environmental Medicine*, New York, v. 17, p. 229-239, 2006.

LIMA, F. R. F.; DIAS, A. C. A infraestrutura rodoviária no Paraná e o tráfego nas rodovias pedagiadas - 2000-2006. *Revista Geografar*, Curitiba, v.3, n.1, p.16-33, 2008.

MIN, B.; ALLEN-SCOTT, L. K.; BUNTAIN, B. Transdisciplinary research for complex One Health issues: A scoping review of key concepts. *Preventive Veterinary Medicine*, v. 112, p, 222-229, 2013.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENTS, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL (PRF). Dados abertos dos boletins de acidentes nas rodovias federais. Disponível em: <https://www.gov.br/prf/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/dados-abertos-acidentes> Acessado em 12 de maio de 2022.

RAMP, D.; ROGER, E. Frequency of animal-vehicle collisions in NSW. In: LUNNEY, D.; MUNN, A.; MEIKLE, W. (eds.). *Too close for comfort: contentious issues in human-wildlife encounters*. Royal Zoological Society of New South Wales, Mosman p. 118-126, 2008.

SEILER, A. Ecological Effects of Roads – a Review. *Introductory Research Essay*, n. 9, p. 0-40, 2001.

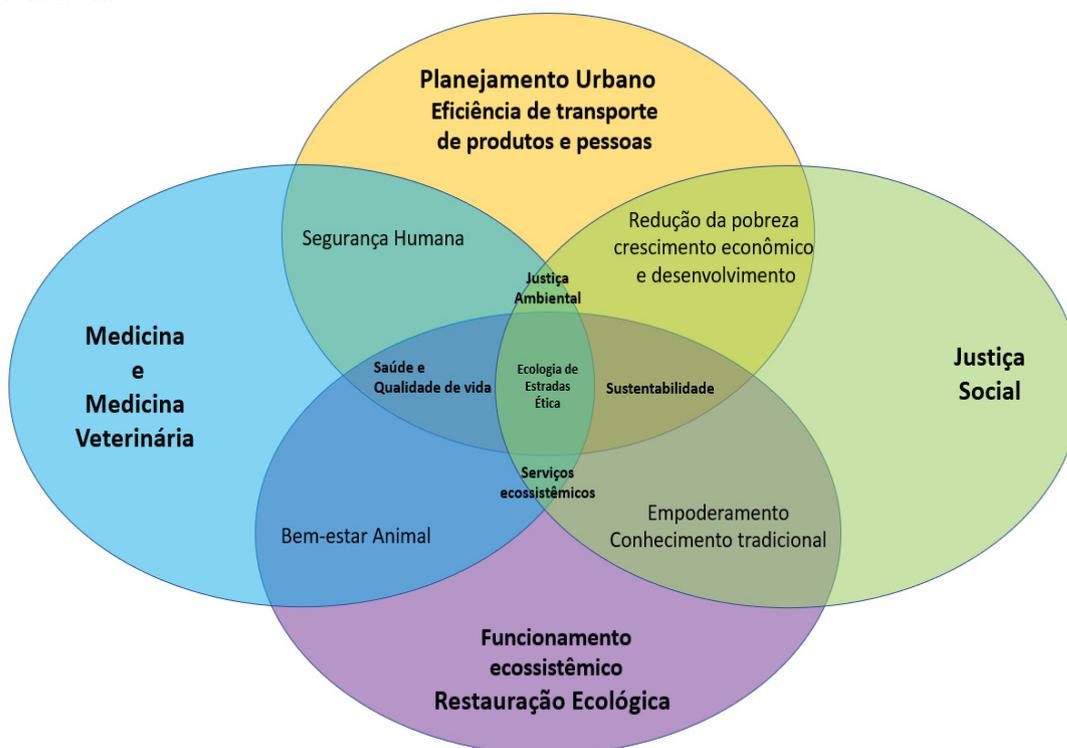
TAVARES, D. M.; COELHO, I. B.; CARDOSO, P. H. O.; LIMA, R. P.; STEIN, P. Cenário dos acidentes por atropelamento de fauna nas rodovias federais brasileiras e a mortalidade dos humanos envolvidos. In: XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte. Anais. Recife, p. 1-9, 2017.

WILKINS, D. C.; KOCKELMAN, K. M.; JIANG, N. Animal-vehicle collisions in Texas: How to protect travelers and animals on roadways. *Accident Analysis and Prevention*, v. 131, p. 157-170, 2019.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÃO E CONTINUIDADE

Apesar da grande contribuição que estudos clássicos de Ecologia de Estrada têm trazido para a compreensão dos impactos ambientais de empreendimentos lineares, fica claro que estes estudos isolados e desarticulados da realidade social onde a rodovia está inserida, pouco acrescentam para a construção de políticas públicas, efetivas medidas de mitigação e engajamento de amplas esferas da sociedade, além dos profissionais ambientais. A conservação ambiental e o desenvolvimento socioeconômico sustentável devem sempre ser movidos pela responsabilidade ética e moral de reduzir e reverter os impactos antrópicos e salvaguardar a biodiversidade, as pessoas e o legado histórico de uma área. A partir dessas ideias de Moore e colaboradores (2021), a FIGURA 26 traz como reflexão final uma síntese dos aspectos que devem ser considerados para que possamos ter estradas mais seguras e voltadas para a coexistência entre seres humanos, animais e meio ambiente.

FIGURA 26 – Aspectos éticos e socioambientais que devem ser considerados em relação à manutenção, ampliação e abertura de estradas no Litoral do Paraná.



Fonte: Elaborado a partir de Moore e colaboradores (2021)

É importante destacar na figura acima as áreas de convergência, sobreposição, intersecções, cujas relações e seus respectivos interesses nem sempre apresentam facilidades. Precisamos nos preparar para diálogos com fundamentação e resiliência daqueles que têm a convicção de que o inédito viável é possível para aqueles que se juntam apostando em futuro mais esperançoso.

Frente à fragilidade socioambiental da região da costa paranaense e ao cenário de pressão industrial e portuária em que ela se encontra, é indispensável que o Litoral do Paraná passe a ser planejado e analisado de maneira a conciliar e mediar a conservação ambiental e o desenvolvimento regional. Em tempos de retrocessos, inversão de valores e de promoção do desenvolvimento econômico acima de tudo e de todos e a qualquer custo, argumentos ecológicos acabam por ser silenciados e invisibilizados. Encarar as colisões veiculares com animais como um problema de Saúde Única, que envolve não só questões ambientais, mas também de Saúde Humana e Animal, se mostra como um fator de grande potencial para a ampliação da discussão e engajamento de outros setores, potencializando a força das coesões. Quando pensamos na expansão da infraestrutura viária no Litoral do Paraná, devemos considerar que a abertura de novas estradas em uma área com alto valor socioambiental requer amplas e específicas análises e providências estratégicas sustentáveis, com intencionais esforços, sempre que possível para evitá-la. Ao longo desse percurso, quanto mais setores se somam, mais aumenta a possibilidade de encontrarmos soluções sustentáveis para um cenário bastante complexo.

Também considero que as motivações pessoais no início desta caminhada acadêmica foram atingidas. Porém, assim como estradas trazem o desenvolvimento socioeconômico, que acaba por demandar mais estradas, perguntas levam a respostas que desencadeiam mais perguntas. Ao longo destes quatro anos em que me dediquei ao tema encontrei no caminho muito mais perguntas do que respostas. O fim deste trabalho nem de longe pode ser considerado o destino final desta jornada.

Em relação a aplicabilidade deste estudo, alguns aspectos podem ser destacados, tais como a lista gerada de espécies e trechos que devem ser melhor estudados, bem como o rol de sugestões de medidas de mitigação que

podem ser imediatamente aplicadas, como o controle de velocidade de veículos, principalmente em feriados prolongados e temporada de veraneio. Reconhecer as espécies mais atingidas, os trechos de maior probabilidade de colisão e os padrões temporais dos atropelamentos é o passo inicial para entender os impactos de uma estrada na biodiversidade do local onde está inserida. Porém, apesar de termos levantado uma lista preliminar de espécies atingidas e indícios de trechos que podem ser críticos para o atropelamento de fauna, a lacuna de conhecimento relativa ao tamanho e à dinâmica populacional de boa parte das espécies da fauna silvestre da região ainda precisa ser preenchida para que o impacto possa ser dimensionado e para que possam ser melhor avaliadas se e quais medidas de mitigação se aplicam.

Ao longo desse estudo, foi possível entender que pessoas, animais e ambiente formam um ecossistema interdependente que precisa ser considerado de maneira coordenada, e a compreensão de como esses fatores se relacionam pode ser bastante útil para o desenvolvimento de intervenções e ações para a redução de riscos. A partir disso, o entendimento do perfil epidemiológico dos acidentes, permite que estratégias de mudança sejam traçadas, sejam elas na estrutura de rodovias, sejam no manejo de fauna silvestre e doméstica ou mesmo na alteração de comportamento humano.

Também foi possível dar visibilidade e uso para a ampliação de políticas públicas ao banco de dados de acidentes de trânsito da Polícia Rodoviária Federal. O uso e visibilização científica de dados já existentes, como o banco de dados da Polícia Rodoviária Federal, se mostrou bastante promissor. Porém levantou em mim questionamentos sobre o porquê desta acessibilidade não existir para outros dados semelhantes, como por exemplo: dados da polícia rodoviária estadual, dados da concessionária que administrou por vários anos boa parte das rodovias do local, ou mesmo dados de aplicativos para celulares que se intitulam ferramentas de ciência cidadã, mas que mantem seus bancos de dados fechados e inacessíveis. Registros de acidentes de trânsito, volume de tráfego e atropelamento de espécies ameaçadas se perdem engavetados ou são omitidos intencionalmente. E, isto pode ser mudado com a ampliação da consciência das pessoas e de amplos setores da sociedade.

Em relação as possibilidades de estudos futuros para a caminhada que ainda tenho de mais vários anos na docência de uma Instituição Federal de

Ensino público, gratuito e, que busca deixar sua marca de qualidade técnica, científica e socialmente justa, talvez estas tenham se configurado como o maior produto desta jornada. Saio desta trajetória cheia de perguntas e ainda mais apaixonada pela temática, pronta para retornar aos meus alunos, às minhas práticas como educadora, com entusiasmo, inquietação e perguntas para construir em conjunto. Saio deste processo um ser humano, uma profissional, uma pesquisadora, uma professora e uma orientadora muito melhor.

Em minha instituição, sou responsável pelas disciplinas de Educação socioambiental, Zoologia e Conservação e Manejo de Fauna. Atuo com estudantes dos cursos de Ensino médio técnico em meio Ambiente, de Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental e de especialização em Gestão Ambiental. Dentro da Conservação Ambiental, meu papel principal é a capacitação de pessoas para a consciência crítica e responsável, com postura proativa e fundamentada para trabalhar com conservação e sustentabilidade socioambiental, e me sinto renovada para isso.

8. REFERÊNCIAS

- ABRA, F. D.; GRANZIERA, B. M.; HUIJSER, M. P.; FERRAZ, M. P. M. B.; HADDAD, C. M.; PAOLINO, R. M. Pay or prevent? Human safety, costs to society and legal perspectives on animal-vehicle collisions in São Paulo state, Brazil. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 14, n. 4, p. 1-22, 2019.
- ACSELRAD, H. O conhecimento do ambiente e o ambiente do conhecimento: anotações sobre a conjuntura do debate sobre vulnerabilidade. **Revista em Pauta**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 11, p. 115-129, 2013.
- ALMGIR, M.; CAMPBELL, M. J.; SLOAN, S.; GOOSEN, M.; CLEMENTS, G. R.; MAHAMOUD, M. I.; LAURENCE, W. F. Economics, Socio-political and Environmental Risks of Road Development in the Tropics. **Current Biology**, Maryland Heights, v. 27, n. 20, p.1130-1140, 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen´s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- BAGER, A. **Infraestrutura viária e biodiversidade: métodos e diagnósticos**. Lavras: Ed. UFLA, 2018.
- BALBO, F. A. N; GRAMANI, L. M.; CHAVES NETO, A.; BOOGO, R. L.; MINERVI, N. A. Análise Fatorial Aplicada aos Dados dos Acidentes na BR-277. In: XLII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. **Anais**: Bento Gonçalves, 2010. p. 1006-1017.
- BALČIAUSKAS, L.; STRATFORD, J.; BALČIAUSKIENĖ, L.; KUČAS, A. Importance of professional roadkill data in assessing diversity of mammal roadkill. **Transportation Research**. Part D: Transport and Environment, v. 87, 10 p., 2020.
- BATISTÃO, M. D. C.; TACHIBANA, V. M.; SILVA, J. F. C. Análise Fatorial Multivariada em dados de acidentes rodoviários para mapeamento de trechos críticos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Monte Carmelo, n. 68/4, p. 831-841, 2016.
- BEHRAVESH, C. B. One Health: over a decade of progress on the road to sustainability. **Revue scientifique et technique**, Paris, v. 38, n. 1, p. 21-50, 2019.
- BIGARELLA, J. J. **Matinho: Homem e Terra – reminiscências...** 3. ed. Ampliada. Curitiba: Fundação Cultural de Curitiba, 2009.
- BLANC, G. F. C; SANTOS, J. J. S.; FERRONATO, E. C. P.; HACK, R. O. E.; MIRANDA, T. L. G. O paradigma da existência de linhas de transmissão de energia elétrica em unidades de conservação estaduais no estado do Paraná.

Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, Curitiba, v. 11, n. 5, p. 113-125, 2016.

BORGES, R. A.; ALVES, M. C.; SEZERINO, F. S.; SANTOS, S. R. L. Grande Reserva Mata Atlântica: um destino turístico de produção de natureza. In: SUTIL, T.; LADWIG, N. I.; SILVA, J. G. S. (org.). **Turismo em áreas protegidas**. Criciúma: UNESC, 2021. p.197-2013.

BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de Setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 184, Seção 1., p.1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503.htm Acesso 15 de julho de 2019.

BRASIL. Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o Art. 225, Par. 1º, Incisos I, II, III E VII da Constituição Federal, Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá Outras Providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 138, Seção 1., p.1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm Acesso 01 de março de 2020.

BRASIL. Lei nº 14.064 de 29 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, para aumentar as penas cominadas ao crime de maus-tratos aos animais quando se tratar de cão ou gato. . Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 188, Seção 1., p.1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/L14064.htm Acesso 04 de fevereiro de 2022.

BUSSLER, A. B.; CAVARZERE, V. Disponibilidade de Informação Ornitológica das Unidades de Conservação do Estado do Paraná: Planos de Manejo. In: Freitas, D. R. J. (org). **O fortalecimento Intensivo das Ciências Biológicas e suas interfaces 2**. Ponta Grossa: Editora Atena, 2021, p.134-146.

CANAL, D.; MARTÍN, B.; LUCAS, M.; FERRER, M. Dogs are the main species involved in animal-vehicle collisions in southern Spain: Daily, seasonal and spatial analyses of collisions. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 13, n. 9, p. 1-14, 2018.

CARLUCCI, M. B.; MARCILIO-SILVA, V.; TOREZAN, J. M. The southern Atlantic Forest: use, degradation, and perspectives for conservation. In: MARQUES, M. C. M. and GRELE, C. E. V. (eds). **The Atlantic Forest – History, Biodiversity, Threats and Opportunities of Mega-diverse forest**. Switzerland: Springer Nature, 2021, p. 91-114.

CARVALHO, B. H. G.; STRUETT, M. M.; LEIVAS, P. T. 2019. Predation of *Leptodactylus notoaktites* (Anura: Leptodactylidae) by *Erythrolamprus miliaris* (Squamata: Dipsadidae) in Atlantic Forest, Southern Brazil. **Herpetology Notes**, Victorville, v. 12, p. 1029-1030, 2019.

CAVALCANTE, F. G.; MORITA, P. A.; HADDAD, S. R. Sequelas invisíveis dos acidentes de trânsito: o transtorno de estresse pós-traumático como problema

de saúde pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 5, p. 1763-1772, 2007.

CBEE. Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas. 2021. Atropelômetro. 2021. Disponível em: <http://cbee.ufla.br/portal/atropelometro> Acesso em 15 de maio de 2021.

CIRINO, D.; FREITAS, S.R. Quais são os animais silvestres mais atropelados no Brasil? In: 5º. Workshop de Evolução e Diversidade. **Anais**: Universidade Federal do ABC, Santos, 2018. p.48-56.

COELHO, A. V. P.; COELHO, I. P.; TEIXEIRA, F. T.; KINDEL, A. Siriema: road mortality software. Manual do Usuário V.2.0. Porto Alegre: NERF, UFRGS, 2014. Disponível em: www.ufrgs.br/siriema. Acesso 18 de agosto de 2018.

COELHO, I. P.; KINDEL, A.; COELHO, A. V. P. Roadkill of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, Southern Brazil. **European Journal of Wildlife Research**, Ciudad Real, v. 54, n. 4, p. 689-699, 2008.

COELHO, I. P.; TEIXEIRA, F. Z.; COLOMBO, P.; COELHO, A. V. P.; KINDEL, A. Anuran roadkill neighboring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. **Journal of Environmental Management**. v. 112, p. 17-26, 2012.

COFFIN, A. W. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. **Journal of Transport Geography**, Belgium, v. 15, p. 396–406, 2007.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE (CNT). Anuário CNT do Transporte 2020. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2020/> Acesso em 05 de março de 2021.

CONRAD, P. A.; MEEK, L. A.; DUMIT, J. 2013. Operationalizing a One Health approach to global health challenges. **Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases**, France, n. 36, p. 211-216, 2013.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CEMA). Resolução nº 98, de 22 de setembro de 2016. Dispõe sobre a obrigatoriedade de diagnóstico, monitoramento e mitigação dos atropelamentos de animais silvestres nas estradas, rodovias e ferrovias do estado do Paraná. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=328922> Acesso em 24 de novembro de 2021.

DHAMA, K.; CHAKRABORTY, S.; KAPOOR, S.; TIWARI, R.; KUMAR, A.; DEB, R.; RAJAGUNALAN, S.; SINGH, R.; VORA, K.; NATESAN, S. 2013. One World, One Health – Veterinary Perspectives. **Advances in Animal and Veterinary Sciences**, Giza, v.1, n.1, p. 5-13, 2013.

DULLIUS, A. **Dinâmicas territoriais de apropriação e concessão de tutoria para a gestão de resíduos recicláveis por associações de catadores e catadoras em Matinhos-PR**. 257f. Tese (Doutorado em Tecnologia e

Sociedade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2020. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4849> Acesso 08 de novembro de 2021.

ELSTE, G. A. S.; ZANLORENCI, G. A.; LAUTERT, L. F. C.; NAZARIO, M. G.; MARQUES, P. H. C.; QUADROS, J. A contaminação do Rio Guaraguaçu (Litoral do Paraná): limites e riscos ao desenvolvimento territorial regional. **Guaju – Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 54-70, 2019.

ESTEVES, C. J. O. Vulnerabilidade Socioambiental na área de ocupação contínua do Litoral do Paraná – Brasil. 354f. Tese (Doutorado em Geografia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2011. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/33907> Acesso em 29 de outubro de 2019.

FAHRIG, L.; RYTWINSKI, T. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. **Ecology and Society**, Dedham, v. 14, n. 1, 21p., 2009.

FERREIRA, L.; SCHIMTZ, L. K. A modificação da paisagem do litoral do Paraná a partir dos processos de ocupação e urbanização: Paisagem, cultural e arte. **Revista Geográfica de América Central**, Heredia, v. 2, n.47E, p.1-18., 2011.

FORMAN, R. T. T.; SPERLING, D.; BISSONETTE, J. A.; CLEVINGER, A. P.; CUTSHALL, C. D.; DALE, V. H.; FAHRIG, L.; FRANCE, R.; GOLDMAN, C. R.; HEANUE, K.; JONES, J. A.; SWANSON, F. J.; TURRENTINE, T.; WINTER, T. C. **Road Ecology: Science and solutions**. Washington: Island Press. 2003.

FREITAS, S. R.; SOUSA, C. O. M.; BOSCOLO, D.; METZGER, J. P. How are native vegetation and reserves affected by different road types in a southeastern Brazilian state? **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 4, p. 447-458, 2013.

GALETTI, M.; GONÇALVES, F.; VILLAR, N.; ZIPPARRO, V. B.; PAZ, C., MENDES, C.; LAUTENSCHLAGER, L.; SOUZA, Y.; AKKAWI, P.; PEDROSA, F. et al. Causes and consequences of large-scale defaunation in Atlantic Forest. In: MARQUES, M. C. M. and GRELE, C. E. V. (eds). **The Atlantic Forest – History, Biodiversity, Threats and Opportunities of Mega-diverse forest**. Switzerland: Springer Nature, 2021, p. 91-114.

GARRIGA, N.; FRANCH, M.; SANTOS, X.; MONTORI, A.; LLOEWNTE, G. A. Seasonal variation in vertebrate traffic casualties and its implications for mitigation measures. **Landscape and Urban Planning**, Brussels, v. 157, p. 36-44, 2017.

GLISTA, D. J.; DEVAULT, T. L.; DEWOODY, J. A. 2007. Vertebrate road mortality predominantly impacts amphibians. **Herpetological Conservation and Biology**, Fresno, v. 3, n. 1, p. 77-87, 2007.

GÓES, L. M. **Conservação e Grandes Empreendimentos de Infraestrutura no Litoral do Paraná: A Ferrovia Lapa-Paranaguá**. 122f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/37275?show=full> Acesso em 13 de junho de 2021.

GÓES, L. M.; TEIXEIRA, C.; FARACO, L. F. D.; FOPPA, C. C. Licenciamento Ambiental de empreendimentos de infraestrutura e a conservação da natureza no litoral do Paraná: Acordos e invisibilidade no caso da ferrovia Lapa-Paranaguá. **Guaju – Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável**, Curitiba, v. 7, n.1, p. 232-256, 2021.

GONÇALVES, L. O.; ALVARES, D. J.; TEIXEIRA, F. Z.; SCHUCK, G.; COELHO, I. P.; ESPERANDIO, I. B.; ANZA, J.; BEDUSCHI, J.; BASTAZINI, V. A. G.; KINDEL, A. Reptile roadkill in Southern Brazil: Composition, hot moments and hotspot. **Science of the Total Environment**, Barcelona, v. 615, p. 1438-1445, 2018.

HILL, J. E.; DEVAULT, T. L.; BELANT, J. L. Cause-specific mortality of the world's terrestrial vertebrates. **Global Ecology and Biogeography**, v. 28, n. 5, p.680-689, 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Portal cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em 03 de março de 2022.

Instituto de Pesquisas Econômicas Brasileiras (IPEA). **Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras – caracterização tendências e custos**. Relatório de Pesquisa. 42p. 2015 Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/150922_relatorio_acidentes_transito.pdf Acessado em 09/05/2022 Acesso em 25 de janeiro de 2022.

JARDIM, J. M. M.; SILVA Jr., R. A. S.; PASCOAL, I. C.; OLIVEIRA, A. A. F.; PINHEIRO Jr., J. W. 2017. Análise dos acidentes de trânsito ocasionados por animais nas rodovias federais do estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Medicina Veterinária (UFRPE)**, Recife, v. 11, n. 1, p. 76-84, 2017.

LANGLEY, R. L.; HIGGINS, S. A.; HERRIN, K. B. Risk Factors Associated with Fatal Animal-Vehicle Collisions in the United States, 1995–2004. **Wilderness and Environmental Medicine**, New York, v. 17, p. 229-239, 2006.

LAURENCE, W. F.; CLEMENTS, G.; SLOAN, S.; O'CONNELL, C. S.; MULLER, N. D.; GOOSEM, M.; VENTER, O.; EDWARDS, D. P.; PHALAN, B.; BALMFORD, A.; VAN DER REE, R.; ARREA, I. B. A global strategy for road building. **Nature**, London, n. 513, p. 229-232, 2014.

LAURENCE, W. F. Bad Roads, good roads. In: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. (ed.) **Handbook of Road ecology**. West Sussex: John Wiley & Sons Ltda. 2015.

LEITE, R. M. S.; BÓÇON, R.; BELÃO, M.; SILVA, J. C. Atropelamento de mamíferos silvestres de médio e grande porte nas rodovias PR-407 e PR-508, planície costeira do estado do Paraná, Brasil. In: BAGER, A. **Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas**. Lavras: Edição do autor. p.194-205, 2012.

LEIVAS, P. T.; CALIXTO, P. O.; CRIVELLARI, L. B.; STRUETT, M. M.; MOURA, M. O. Amphibians of the northern coast of the state of Paraná, Brazil. **Herpetology Notes**, Victorville, v. 12, p. 1029-1045. 2018.

LIMA, F. R. F.; DIAS, A. C. A infraestrutura rodoviária no Paraná e o tráfego nas rodovias pedagiadas - 2000-2006. **Revista Geografar**, Curitiba, v.3, n.1, p.16-33, 2008.

MARQUES, M. C. M.; TRINDADE, W.; BOHN, A.; GRELE, C. E. V. The Atlantic Forest: An introduction to the Megadiverse Forest of South America. In: MARQUES, M. C. M.; GRELE, C. E. V. (eds). **The Atlantic Forest – History, Biodiversity, Threats and Opportunities of Mega-diverse forest**. Switzerland: Springer Nature. p. 3-24. 2021.

MIN, B.; ALLEN-SCOTT, L. K.; BUNTAIN, B. Transdisciplinary research for complex One Health issues: A scoping review of key concepts. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 112, p, 222-229, 2013.

MOHANTY, C. R.; RADHAKRISHNAN, R. V.; JAIN, M.; SASMAL, P. K.; HANSDA, U.; VUPPALA, S. K.; DOKI, S. K. 2021. A study of the pattern of injuries sustained from road traffic accidents caused by impact with stray animals. **Journal of Emergencies, Trauma and Shock**, New Dehli, v. 14, n. 1, p. 23-27, 2021.

MOORE, L. J.; ARIETTA, A. Z. A.; SPENCER, D. T.; HUIJSER, M. P.; WALDER, B. L.; ABRA, F. D. On the road without a map: why we need a “ethic of road ecology”. **Frontiers in Ecology and Evolution**, Lausanne, v. 9., 10 p., 2021.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENTS, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

OLIVEIRA. S. L.; BASTOS, R. P.; LACERDA, K. A. P.; LACERDA, S. E. A. Ecologia de estradas – estado da arte no Brasil e no mundo. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinais, v. 6, n. 2, p. 98.546-98.573, 2020.

PARANÁ. Lei nº 19.939 de 24 de setembro de 2019. Dispõe sobre a obrigação das empresas concessionárias de rodovias em atividade no Estado do Paraná de realizar o resgate e a assistência veterinária de emergência de animais acidentados nas rodovias e estradas por elas administradas, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=382776> Acesso em 19 de agosto de 2020.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER). **Sistema Rodoviário do Estado do Paraná 2020**. Disponível em: https://www.der.pr.gov.br/sites/der/arquivos_restritos/files/documento/2021-06/sre_2020.pdf Acessado em 05 de junho de 2022.

PAULA, E. V.; PIGOSSO, A. M. B.; WROBLEWSKI, C. A. Unidades de Conservação no Litoral do Paraná: Evolução Territorial e Grau de Implementação. In: SULZBACH, M.; ARCHANJO, D.; QUADROS, J. (orgs.) **Litoral do Paraná: Território e Perspectiva**, Volume 3: dimensões de desenvolvimento. Rio de Janeiro: Autografia. p. 41-92. 2018.

PAULA, E. V.; SILVA, A. S. da; FICHER, D.; BORGES, C. R. S.; SIPINSKI, E. A. B. Observatorio de Conservación Costera de Paraná – OC2: Uma Herramienta de apoyo al Desarrollo Regional. **Proyección**, n. 23, p. 48-67, 2018.

PINTO, L. P.; BEDÊ, L.; PAESE, A.; FONSECA, M.; PAGLIA, A.; LAMAS, I. Mata Atlântica Brasileira: os Desafios para Conservação da Biodiversidade de um Hotspot Mundial. In: ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; ALVES, M. A. S.; SLUYS, M. V. (eds.) **Biologia da conservação: Essências**. São Carlos: Rima Editora. p. 91-118. 2006.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL (PRF). **Dados abertos dos boletins de acidentes nas rodovias federais**. Disponível em: <https://www.gov.br/prf/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/dados-abertos-acidentes> Acessado em 12 de maio de 2022.

PRADA, C. S. **Atropelamento de vertebrados silvestres em uma região fragmentada do nordeste do Estado de São Paulo: quantificação do impacto e análises de fatores envolvidos**. 147f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) Universidade Federal de São Carlos, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/2117?show=full> Acesso em 18 de dezembro de 2019.

RAMOS, C. C. O.; LIMA-JUNIOR, D. P.; ZAWADZKI, C. H.; BENEDITO, E. A. biologia e a ecologia das aves é um fator importante para explicar a frequência de atropelamentos? **Neotropical Biology and Conservation**, São Leopoldo, v. 6, n. 3, p. 201-212, 2011.

RAMP, D.; ROGER, E. Frequency of animal-vehicle collisions in NSW. In: LUNNEY, D.; MUNN, A.; MEIKLE, W. (eds.). **Too close for comfort: contentious issues in human-wildlife encounters**. Royal Zoological Society of New South Wales, Mosman p. 118-126, 2008.

RIBEIRO, H. Y. Histórico da ocupação do balneário de Caiobá: um relato sob a perspectiva da história ambiental. In.: IV Encontro Nacional da Anppas. **Anais**. Brasília, 2008.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the

remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009.

RIBEIRO, M. C.; MARTENSEN, A. C.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M.; SCARANO, F.; FORTIN, M. J. The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot. In: ZACHOS, F. E. e HABEL, J. C. **Biodiversity Hotspots**. Berlin: Springer. p. 405-434. 2011.

ROSA, C. A.; BAGER, A. Seasonality and habitat types affect roadkill of neotropical birds. **Journal of Environmental Management**, v. 97, p. 1-5, 2012.

ROSA, M. R.; MAZIN, V.; FREITAS, J.; ROSA, E. R.; PATERNOST, F. **Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica período 2016-2017**. São Paulo: SOS Mata Atlântica - INPE, 2018.

SAITO, E. N.; BALESTIEIRI, M. F. (org). **Manual de orientações técnicas para mitigação de colisões veiculares com fauna silvestre nas rodovias estaduais do Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, MS: Secretaria de Estado de Infraestrutura do Mato Grosso do Sul, 2021.

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

SCHWARTZ, A. L.; SHILLING, F. M. PERKINS, S. E. 2020. The value of monitoring wildlife roadkill. **European Journal of Wildlife Research**, Ciudad Real, v. 66, n. 1, p. 1-12, 2020.

SECCO, H.; COSTA, V. O.; GUERREIRO, M.; GONÇALVES, P. R. Evaluating impacts of road expansion on porcupines in a biodiversity hotspot. **Transportation Research**. Part D: Transport and Environment, v. 102, 11p, 2022.

SEILER, A. Ecological Effects of Roads – a Review. **Introductory Research Essay**, n. 9, p. 0-40, 2001.

SILVA, M. O.; OLIVEIRA, I. G.; CARDOSO, M. W.; GRAF, V. Roadkill impact over the herpetofauna of Atlantic Forest (PR-304, Antonina, Paraná). **Acta Biologica Paranaense**, Curitiba, v. 36, n. 1-2, p.103-112, 2007.

SILVA, G. C. **Avaliação das espécies de anuros do Lagamar Paulista e Paranaense**. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2021.
Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/214365> Acesso em 06 de março de 2022.

SISSON, G. P. **The Rocky Reality of Roadways and Timber Rattlesnake (Crotalus horridus): an intersection of Spatial, Thermal and Road Ecology**. Thesis (Master of Science degree Biological Sciences) Ohio University, 2017.

Disponível em:

https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_etd/send_file/send?accession=ohiou1501858940884785&disposition=inline Acesso em 21 de abril de 2020.

TAVARES, D. M.; COELHO, I. B.; CARDOSO, P. H. O.; LIMA, R. P.; STEIN, P. Cenário dos acidentes por atropelamento de fauna nas rodovias federais brasileiras e a mortalidade dos humanos envolvidos. In: XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte. **Anais**. Recife, p. 1-9, 2017.

TEIXEIRA, F. Z.; COELHO, A. V. P.; ESPERANDIO, I. B.; KINDEL, A. Vertebrate road mortality estimates: effects of sampling methods and carcass removal. **Biological Conservation**, v. 157, p. 317–323, 2013.

VAN DER GRIFT, E. A.; VAN DER REE, R.; FAHRIG, L.; FINDLAY, S.; HOULAHAN, J.; JAEGER, J. A. G.; KLAR, N.; MADRIÑAN, L. F.; OLSON, L. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. **Biodiversity Conservation**, London, v. 22, p. 425-488, 2013.

VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. The ecological effects of linear infrastructure and traffic: challenges and opportunities of rapid global growth. In: _____ (ed.) **Handbook of Road ecology**. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltda., 2015.

VIKOU, S. V. P.; CANEPARO, S. C.; PAULA, E. V. Urbanização e crescimento demográfico no município de Matinhos (PR). In: LADWIG, N. I.; SCHWALM, H. (Org.). **Planejamento e gestão territorial: gestão integrada do território**. Criciúma: UNESCO, p.209-225, 2017.

VIKOU, S. V. P.; CANEPARO, S. C.; PAULA, E. V. A expansão urbana no entorno do parque nacional de Saint-Hilaire/Lange. **Guaju – Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 94-106, 2018.

WILKINS, D. C.; KOCKELMAN, K. M.; JIANG, N. Animal-vehicle collisions in Texas: How to protect travelers and animals on roadways. **Accident Analysis and Prevention**, v. 131, p. 157-170, 2019.

WOLDEHANNA, S.; ZIMICKI, S. An expanded One Health model: Integrating social science and One health to inform study of the human-animal interface. **Social science & Medicine**, Boston, v. 129, p. 87-95, 2015.

WOLTZ, H. W.; GIBBS, J. P.; DUCEVIC, P. K. Road crossing structures for amphibians and reptiles: Informing design through behavioral analysis. **Biological Conservation**, v. 141., p.2745-2750, 2008.

XIE, S.; WANG, X.; YANG, T.; HUANG, B.; WANG, W.; LU, F.; ZHANG, L.; HAN, B.; OUYANG, Z. 2021. Effects of highways on breeding birds: Example of Hulunbeier, China. **Global Ecology and Conservation**, v. 7, 9 p, 2021.

ZINSSTAG, J.; SCHELLING, E.; WALTNER-TOEWS, D.; TANNER, M. From “one medicine” to “one health” and systemic approaches to health and well-being. **Preventive Veterinary Medicine**. v. 101, p. 148-156, 2011.