

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE BIOLOGIA**

PEDRO HENRIQUE BATISTELA MORAES

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS DE
ATROPELAMENTO DE ANIMAIS EMPREGADAS NA MALHA VIÁRIA
BRASILEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

UBERLÂNDIA

2022

PEDRO HENRIQUE BATISTELA MORAES

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS DE
ATROPELAMENTO DE ANIMAIS EMPREGADAS NA MALHA VIÁRIA
BRASILEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Ciências Biológicas, do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Kátia Gomes
Facure Giaretta

UBERLÂNDIA

2022

RESUMO

As rodovias alteram o comportamento animal e interferem em sua sobrevivência. Anualmente, estimam-se que 475 milhões de animais vertebrados silvestres são mortos atropelados nas rodovias e ferrovias em todos os biomas brasileiros. A ecologia de estradas é um ramo aplicado que visa estudar a conexão entre a implantação de infraestrutura viária (rodovias, ferrovias e hidrovias) e sua manutenção com a biodiversidade. A crescente ampliação dessas vias de locomoção tem impactos negativos sobre a biodiversidade, como atropelamento de fauna silvestre, fragmentação da paisagem, degradação de habitat e disseminação de espécies exóticas. Algumas ações mitigadoras foram criadas e implantadas em infraestruturas viárias a fim de diminuir a frequência de ocorrência de colisões entre veículos e animais, por exemplo as trincheiras para passagem de fauna. Este estudo teve como objetivos realizar um levantamento de dados na plataforma do Sistema Urubu a fim de determinar as regiões do Brasil com maiores índices de atropelamento de mamíferos e uma revisão bibliográfica sobre medidas mitigatórias contra atropelamentos empregadas nas rodovias brasileiras e, também, citadas pelos autores de artigos selecionados. As regiões do Brasil com maiores índices de atropelamentos de mamíferos foram, de forma decrescente, sudeste, sul, centro-oeste, nordeste e norte. O levantamento para a revisão bibliográfica resultou em 12 trabalhos. A biodiversidade brasileira é uma das que mais sofrem com mortalidade devido à atropelamentos. A utilização de medidas mitigatórias para a redução dos impactos das rodovias na fauna é recente no Brasil e ainda carece de estudos para um melhor planejamento e execução, a fim de não comprometer suas eficácias.

Palavras-chave: ecologia de estradas, passagens de fauna, colisões com animais, Brasil.

Abstract

Highways change animal behavior and interfere with their survival. Every year, it is estimated that 475 million wild vertebrate animals are roadkilled on highways and railways in all Brazilian biomes. Road ecology is an applied branch that aims to study the connection between the implementation of road infrastructure (highways, railways and waterways) and its maintenance with biodiversity. The growing expansion of these transport routes has negative impacts on biodiversity, such as wild fauna roadkill, landscape fragmentation, habitat degradation and dissemination of exotic species. Some mitigation actions were created and implemented on road infrastructures in order to reduce the frequency of collisions between vehicles and animals, for example trenches for fauna passage. This study aimed to do a data survey on the Sistema Urubu platform in order to determine the regions of Brazil with the highest rates of mammals being run over and a literature review on mitigation measures against roadkills used on Brazilian highways and also cited by authors of selected articles. The regions of Brazil with the highest rates of mammals being run over were, in a decreasing way, southeast, south, midwest, northeast and north. The survey for the bibliographic review resulted in 12 articles. The Brazilian biodiversity is one of the most affected by mortality due to roadkills. The use of mitigation measures to reduce road impacts on fauna is recent in Brazil and still lacks studies for a better planning and execution in order to not compromise their effectiveness.

Key words: road ecology, wildlife passages, animal collision, Brazil.

INTRODUÇÃO

A malha viária brasileira é enorme, pois a maior parte do transporte de bens de consumo no país é feita via terrestre por caminhões, prioritariamente, e, secundariamente, por via férrea, além do seu uso também para deslocamento e lazer da população (Bager; Fontoura, 2012). A crescente ampliação dessas vias de locomoção tem impactos negativos sobre a biodiversidade, como atropelamento de fauna silvestre, fragmentação da paisagem, degradação de habitat e disseminação de espécies exóticas (Trombulak Frissell, 2000).

Há pesquisas relatando que animais têm seu comportamento alterado devido à presença de rodovias (Bager *et al.*, 2016). Estas representam um obstáculo físico para a vida selvagem (Marsh *et al.*, 2005), sendo, por exemplo, a própria presença da via o fator principal para pequenos mamíferos evitarem de passar no local (McGregor; Bender; Fahrig, 2008) e o volume de tráfego de veículos o fator primordial para mamíferos maiores, como o javali - *Sus scrofa* –, evitarem realizar travessias de vias (Thurfjell *et al.*, 2015).

Existem espécies que possuem o comportamento de se afastarem dessas vias, o que, conseqüentemente, gera um menor índice de colisões com veículos (Bager *et al.*, 2016). Entretanto, isso também afeta o fluxo gênico entre populações, além dos eventos de migração e dispersão para outros territórios em busca de recursos, o que pode ser visto sobretudo em animais de médio e grande porte (Bager *et al.*, 2016; Godbout; Ouellet, 2008).

Por outro lado, existem também os animais que são atraídos pelas rodovias. Dentre os fatores de atração, temos a termorregulação, como é o caso dos répteis em busca de se aquecerem, e a busca por alimentos, como grãos que caíram de caminhões ou carcaças de animais mortos nas vias, atraindo animais necrófagos. Isto os coloca em risco direto de atropelamento, visto que algumas dessas espécies atraídas possuem uma menor agilidade. Em suma, a construção de infraestruturas viárias resulta em diversos impactos negativos à biodiversidade, assim como a maioria dos empreendimentos humanos (Bager *et al.*, 2016; Erritzoe *et al.*, 2003; Bagatine, 2006).

Anualmente, estima-se que 475 milhões de animais vertebrados silvestres são mortos atropelados nas rodovias em todos os biomas brasileiros (CBEE, 2020). Desses, 430 milhões são animais de pequeno porte (anfíbios, pequenas aves, serpentes), 40 milhões de médio porte (marsupiais, pequenos primatas, lebres) e 5 milhões de grande porte (grandes felinos, antas, lobos-guarás, capivaras) (CBEE, 2020). Soma-se a isso a alta mortalidade da fauna de invertebrados, ainda mais difícil de ser quantificada.

Ao invés de haver a preocupação dos impactos de rodovias em uma única espécie, é mais importante considerar a perda de processos ecológicos nos níveis de população, comunidade e ecossistema, sendo um dos maiores problemas da atualidade para a conservação (Forman *et al.*, 2003).

A ecologia de transportes é um ramo aplicado da ecologia que visa estudar a conexão entre a implantação de infraestrutura viária (rodovias, ferrovias e hidrovias) e sua manutenção com a biodiversidade. Entretanto, ela é negligenciada com frequência em debates para a formação de planos estratégicos de desenvolvimento econômico (Bager *et al.*, 2016). Por tentar conectar estruturas lineares, como rodovias, estradas e ferrovias, à paisagem em diversas localidades, ela tem a ecologia de paisagens como principal base (Abra, 2012).

Algumas ações mitigatórias foram criadas e implantadas em infraestruturas rodoviárias a fim de diminuir a frequência de ocorrência de colisões entre veículos e animais, por exemplo as passagens de fauna. Para cada trecho de passagem deve-se levar em consideração as características locais dos portes e comportamentos dos animais silvestres presentes, da paisagem espacial e da malha viária e seu tráfego (IBAMA, 2017).

Essas ações podem ser divididas em medidas estruturais, como construções para o cruzamento seguro de animais de um lado da via ao outro, e medidas não estruturais, visando um financiamento menor, onde há o desenvolvimento de alternativas de menor custo ao invés de estruturas que exigem um gasto maior (passagens de fauna), permitindo um uso mais amplo e um melhor fluxo de animais nos corredores das vias (Glista; DeVault; DeWoody, 2009).

Os túneis subterrâneos ainda são as passagens de animais mais utilizadas no Brasil (IBAMA, 2017). Além destes, temos como medidas de mitigação: sinalização sonora; medidas para a redução de tráfego e velocidade (como placas de trânsito, quebra-molas e radares); repelentes e refletores de vida selvagem; sistemas de detecção de animais; cercas guadoras de fauna; mudanças nas direções das vias das rodovias; viadutos, pontes e projetos de vias modificadas; e estruturas para a travessia da biodiversidade, como pontes de paisagem, passagens superiores, passagens superiores multiuso, passagens de dossel, viadutos, passagens inferiores, passagens inferiores multiuso, passagens inferiores com fluxo de água e dutos modificados (Huijser; McGowen, 2010; Clevenger; Ford, 2010).

Nos dias de hoje, há uma diversidade de projetos ganhando a atenção de pesquisadores em diferentes áreas do conhecimento, pois abrangem a participação ativa de cidadãos ao ser necessário um volume extenso de coleta de dados (Chandler *et al.*, 2017; Dickinson *et al.*, 2012; Monge-Nájera; Seas, 2018). Existem diferentes modelos de ciência cidadã, variando conforme o envolvimento da sociedade, sendo os mais popularmente elaborados os projetos planejados por cientistas nos quais quem colabora com a coleta de dados é a sociedade, chamados de contributivos (Dickinson *et al.*, 2012; Gray *et al.*, 2017).

Em 2014, o Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas (CBEE) criou o Sistema Urubu, hoje a maior ferramenta para a conservação da biodiversidade do país baseada em um sistema de ciência cidadã, com o intuito de mapear os atropelamentos de animais nas rodovias brasileiras utilizando, primariamente, um aplicativo de celular para coleta de dados, onde a identificação de espécies das distintas classes de animais é realizada por especialistas de forma voluntária através de fotos enviadas pelos usuários (Castro; Bager, 2019).

Este estudo tem como objetivos realizar um levantamento de dados na plataforma do Sistema Urubu a fim de determinar as regiões do Brasil com maiores índices de atropelamento de mamíferos e uma revisão bibliográfica sobre medidas mitigatórias contra atropelamentos citadas pelos autores de artigos selecionados.

MÉTODOS

Para esta revisão bibliográfica, foi utilizado o Protocolo Prisma (2009) (Moher *et al.*, 2009), onde, com a finalidade de ajudar nos processos de revisões sistemáticas e metanálises de trabalhos de várias áreas de conhecimento, é baseado em uma lista de verificação e um modelo de diagrama de fluxo (Fluxograma Prisma) (Assis, 2020).

O procedimento de busca de artigos sobre medidas mitigatórias foi realizado nos indexadores de literatura Google Acadêmico, *Scielo* e *Web of Science*, cujos endereços eletrônicos estão definidos na Tabela 1. Esses indexadores são usados em larga escala na América Latina e no mundo.

Tabela 1: Indexadores utilizados no levantamento de literatura e seus endereços eletrônicos.

Indexador	-	Endereço Eletrônico
Google Acadêmico	Scholar	https://scholar.google.com.br/
<i>Scielo</i>	<i>Scielo</i>	https://www.scielo.org/
<i>Web of Science</i>	WoS	https://www-webofscience.ez34.periodicos.capes.gov.br/wos/alldb/basic-search

Foram buscados trabalhos publicados entre 2010 e 2021 com o tema ecologia de estradas e os termos de busca combinados: ecologia de estradas e *road ecology*; mitigação e *mitigation*; atropelamento e *roadkill*; *animal-vehicle collision* e; Brasil e *Brazil*. Quando necessário, foram utilizados operadores de busca “OR” quando se buscava as versões da palavra em português ou inglês e “AND”, conectivo aditivo de palavras na mesma busca. Esses termos foram inseridos nos sistemas de buscas dos indexadores das seguintes formas:

- Scholar) “ecologia de estradas” OR “road ecology” AND “mitigação” OR “*mitigation*” AND “atropelamento” OR “*roadkill*” AND “*animal-vehicle collision*” AND “Brasil” OR “*Brazil*”.
- *Scielo*) foram adicionados 4 campos de busca extras, totalizando 5, conectados pelo conectivo “AND”, sempre escolhendo a opção de procurar em “todos os índices”. Nestes foram inseridos, do primeiro ao quinto campo, respectivamente,

ecologia de estradas OR *road ecology*; mitigação OR *mitigation*; atropelamento OR *roadkill*; *animal-vehicle collision* e; Brasil OR *Brazil*.

- WoS) para este foi realizado a mesma ação de busca descrita acima para o Scielo, escolhendo a opção de procura “todos os campos”.

Para selecionar os estudos durante o levantamento, primeiro foi feito a pesquisa inicial nas bases de dados, seguido pelo descarte das duplicatas, leitura dos resumos e objetivos e descarte dos que não se incluíam no tema em foco do trabalho, finalizando com a leitura completa dos artigos e descarte dos que não continham as informações em procura. O decorrer desta ordem pode ser conferido na figura 1.

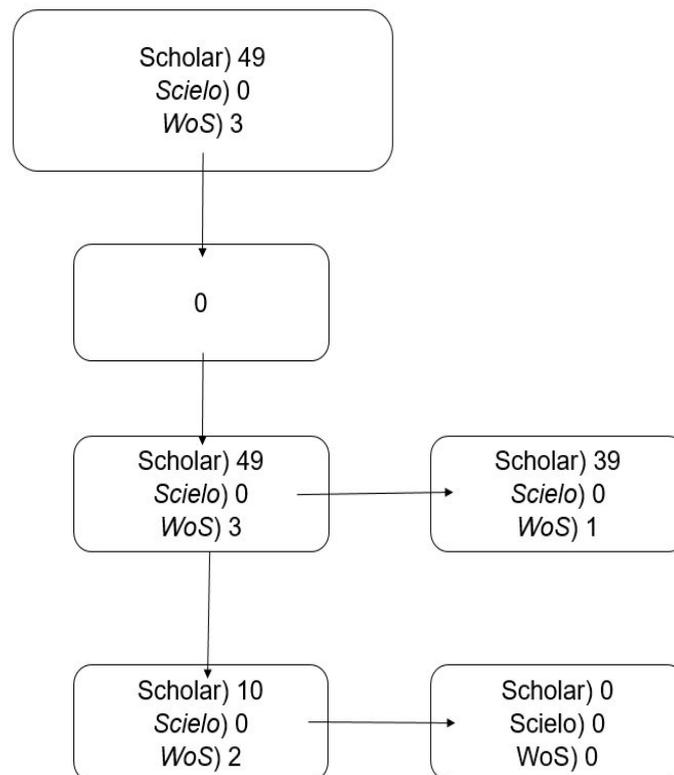


Figura 1: Diagrama de fluxo PRISMA (adaptação de Moher et al., 2009) demonstrando a ordem do processo de seleção dos artigos do levantamento bibliográfico.

Na última etapa dos critérios de inclusão de artigos, foram selecionados aqueles que citassem dados sobre ocorrência de atropelamentos de mamíferos em território brasileiro e possíveis ações mitigatórias para amenizar esses acontecimentos nas vias nacionais. Os estudos que não cumpriam os requisitos foram descartados.

Para a determinação das regiões do Brasil com maiores índices de atropelamento de mamíferos, a coleta de informações foi feita no endereço eletrônico da plataforma de ciência cidadã Sistema Urubu, na categoria “Dados” (<https://sistemaurubu.com.br/dados/>). Neste, além de estimativas das quantidades de mortes de animais por atropelamento, se encontra um mapa do território brasileiro

com as porcentagens de colisões animais-veículos, indicando as regiões em procura nesse trabalho, e um programa interativo, chamado “Dashboard Sistema Urubu”.

O programa possui os seguintes filtros, nos quais foram, também, escolhidas as respectivas opções:

1. Origem – “Sistema Urubu”;
2. Ano – “Selecionar tudo”;
3. Estado – “Selecionar tudo”;
4. Região – “Centro-oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul”;
5. Classe – “Mammalia”;
6. Espécie – “Selecionar tudo”;
7. Grau de ameaça – “Selecionar tudo”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As regiões do Brasil com maiores índices de atropelamentos de mamíferos foram, de forma decrescente, sudeste, sul, centro-oeste, nordeste e norte, conforme pode ser visto na Figura 2, com um total, entre 1988 e 2022 (até agosto), de 8,91 milhões de animais pertencentes à 91 espécies diferentes (Tabela 2), sendo duas destas listadas como “indefinido” e “em branco” no Dashboard Sistema Urubu e não presentes na Tabela 2.



Figura 2: Regiões do Brasil com maiores índices de atropelamentos de mamíferos. Fonte: Dashboard Sistema Urubu. Sistema Urubu, 2022.

Tabela 2: Espécies vítimas de atropelamento. Adaptado do Dashboard Sistema Urubu, Sistema Urubu, 2022.

Ordem								
Cetartiodactyla	Carnivora	Chiroptera	Cingulata	Didelphimorphia	Perissodactyla	Pilosa	Primates	Rodentia
<i>Blastocerus dichotomus</i>	<i>Atelocynus microtis</i>	<i>Artibeus lituratus</i>	<i>Cabassous tatouay</i>	<i>Caluromys lanatus</i>	<i>Tapirus terrestris</i>	<i>Bradypus tridactylus</i>	<i>Alouatta caraya</i>	<i>Akodon montensis</i>
<i>Bos taurus</i>	<i>Canis familiaris</i>	<i>Lasiurus ega</i>	<i>Dasyopus novemcinctus</i>	<i>Caluromys philander</i>	-	<i>Bradypus variegatus</i>	<i>Alouatta guariba</i>	<i>Cavia aperea</i>
<i>Capra hircus</i>	<i>Cerdocyon thous</i>	<i>Noctilio albiventris</i>	<i>Dasyopus septemcinctus</i>	<i>Chironectes minimus</i>	-	<i>Choloepus didactylus</i>	<i>Callithrix aurita</i>	<i>Chaetomys subspinosus</i>
<i>Mazama americana</i>	<i>Chrysocyon brachyurus</i>	<i>Platyrrhinus lineatus</i>	<i>Euphractus sexcinctus</i>	<i>Didelphis albiventris</i>	-	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	<i>Callithrix geoffroyi</i>	<i>Coendou prehensilis</i>
<i>Subulo gouazoubira</i>	<i>Conepatus chinga</i>	-	<i>Priodontes maximus</i>	<i>Didelphis aurita</i>	-	<i>Tamandua tetradactyla</i>	<i>Callithrix jacchus</i>	<i>Coendou spinosus</i>
<i>Dicotyles tajacu</i>	<i>Conepatus semistriatus</i>	-	-	<i>Didelphis marsupialis</i>	-	-	<i>Callithrix kuhlii</i>	<i>Cuniculus paca</i>
<i>Sus scrofa</i>	<i>Eira barbara</i>	-	-	<i>Lutreolina crassicaudata</i>	-	-	<i>Callithrix penicillata</i>	<i>Dasyprocta azarae</i>
<i>Tayassu pecari</i>	<i>Felis catus</i>	-	-	<i>Metachirus nudicaudatus</i>	-	-	<i>Saguinus midas</i>	Erethizontidae*
-	<i>Galictis cuja</i>	-	-	<i>Philander frenatus</i>	-	-	<i>Saguinus niger</i>	<i>Galea spixii</i>
-	<i>Galictis vittata</i>	-	-	-	-	-	<i>Sapajus apella</i>	<i>Guerlinguetus aestuans</i>
-	<i>Leopardus braccatus</i>	-	-	-	-	-	<i>Sapajus libidinosus</i>	<i>Holochilus brasiliensis</i>
-	<i>Leopardus geoffroyi</i>	-	-	-	-	-	<i>Sapajus nigrinus</i>	<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>
-	<i>Leopardus guttulus</i>	-	-	-	-	-	-	<i>Mus musculus</i>

-	<i>Leopardus pardalis</i>	-	-	-	-	-	-	<i>Myocastor coypus</i>
-	<i>Leopardus tigrinus</i>	-	-	-	-	-	-	<i>Necomys lasiurus</i>
-	<i>Leopardus wiedii</i>	-	-	-	-	-	-	<i>Sphiggurus villosus</i>
-	<i>Lontra longicaudis</i>	-	-	-	-	-	-	-
-	<i>Lycalopex gymnocercus</i>	-	-	-	-	-	-	-
-	<i>Lycalopex vetulus</i>	-	-	-	-	-	-	-
-	<i>Nasua nasua</i>	-	-	-	-	-	-	-
-	<i>Panthera onca</i>	-	-	-	-	-	-	-
-	<i>Potos flavus</i>	-	-	-	-	-	-	-
-	<i>Procyon cancrivorus</i>	-	-	-	-	-	-	-
-	<i>Puma concolor</i>	-	-	-	-	-	-	-
-	<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	-	-	-	-	-	-	-
-	<i>Speothos venaticus</i>	-	-	-	-	-	-	-

*: Apresentado somente a nível de família

O levantamento para a revisão bibliográfica resultou em 12 trabalhos (Tabela 3) em que as medidas mitigatórias citadas nos mesmos foram separadas nos seguintes grupos criados conforme critérios próprios do autor:

1. Construção de passagens de fauna e cercas;
2. Melhoria na infraestrutura da rodovia e margens;
3. Redução da presença de animais domésticos;
4. Sinalização e controle da via;
5. Legislação, fiscalização e burocracia;
6. Educação ambiental;
7. Aplicação de tecnologia.

Tabela 3: Trabalhos levantados no processo de revisão bibliográfica

Título	Autores-ano
A mortalidade de fauna invisível no nosso cotidiano	Oliveira, 2018
Can human demographic or biological factors influence mammal roadkill? A case study in the GO-060 highway	De Araújo; Ribeiro; Teles, 2019
Mammal-vehicle collisions on toll roads in São Paulo state: implications for wildlife, human safety and costs for society	Abra, 2019
Padrões espacial e temporal do atropelamento de mamíferos em uma rodovia no Cerrado brasileiro	Oliveira, 2011
Predicting wildlife road-crossing probability from roadkill data using occupancy-detection models	Santos <i>et al.</i> , 2018
Road kills in tropical ecosystems: a review with recommendations for mitigation and for new research	Monge-Nájera, 2018
Road Permeability Index: Evaluating the heterogeneous permeability of roads for wildlife crossing	Assis; Giacomini; Ribeiro, 2019
Spatial and temporal influences of road duplication on wildlife road kill using habitat suitability models	Ciocheti, 2014
Spatio-Temporal Patterns and Consequences of Road Kills: A Review	Aquino; Nkomo, 2021
Trilhando caminhos para avaliar padrões espaciais de mortalidade e fragmentação em rodovias	Teixeira, 2015
Highway widening and underpass effects on vertebrate road mortality	Ciocheti <i>et al.</i> , 2017
Mixed sampling protocols improve the cost-effectiveness of roadkill surveys	Costa; Ascensão; Bager, 2015

A contabilização da quantidade de citações de cada agrupamento presente nos artigos pode ser observada ilustrada em forma de um gráfico, conforme visto na Figura 3.

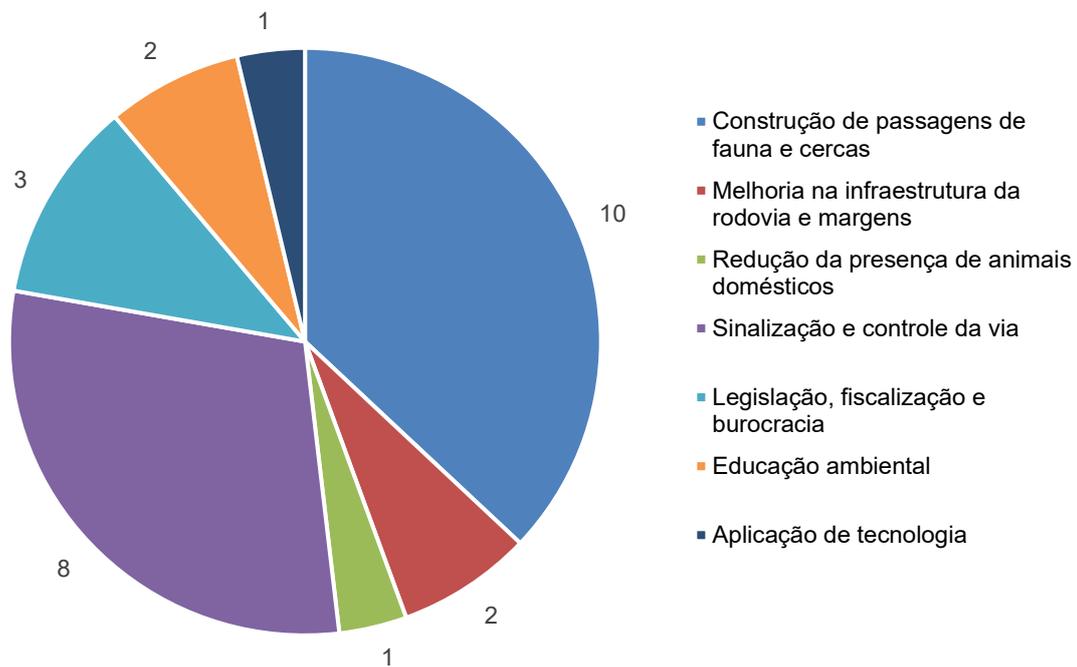


Figura 3: Quantidade de trabalhos levantados contendo cada grupamento de medidas mitigatórias propostas.

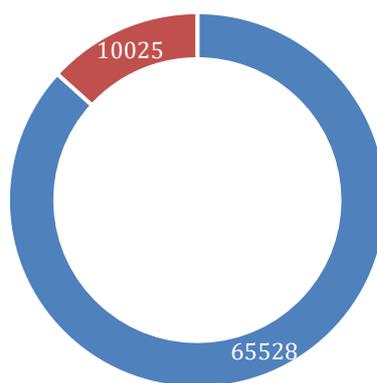
O Brasil representa, atualmente, a quarta maior malha rodoviária do mundo, com 2 milhões quilômetros de rodovias, destas sendo 246 mil quilômetros pavimentados e 1,754 milhão quilômetros não pavimentados (CIA, 2018). Dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), do Ministério da Infraestrutura, mostram que a maior parte da malha rodoviária do país (Figura 4) pertence às regiões sudeste, sul e centro-oeste.

Desse total de quilômetros de rodovias, destacando a malha rodoviária federal, tem-se 75.553 quilômetros, sendo 65.528 quilômetros de rodovias pavimentadas e 10.025 quilômetros de rodovias não pavimentadas (Figura 5). Quanto maior for a quilometragem construída de malha rodoviária no Brasil, maior será a quantidade de registros de colisões animais-veículos. Esta relação diretamente proporcional pode ser observada comparando as informações trazidas pelos dados do DNIT e pelas Figura 2 e Figura 4.



Figura 4: Mapa do Sistema Federal de Viação – Rodovias.
 Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2021.

Malha Rodoviária Federal



- Extensão pavimentada (km)
- Extensão não pavimentada (km)

Figura 5: Extensão da Malha Rodoviária Federal. Adaptado do Ministério da Infraestrutura, 2022.

As malhas viárias são uma concretização de poderes políticos e econômicos e de conexões sociais. Elas, frequentemente, são vistas como sinônimo de progresso, possibilitando que populações se instalem em áreas remotas, facilitando a exportação e importação de produtos, logo, permitindo o acesso a mercados consumidores diversos. Isto estimula o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) (Bager, 2017).

Entretanto, há vários fatores negativos. No século passado, a construção de rodovias foi uma das alterações que mais geraram impactos ambientais extensos nos ecossistemas, aumentando um dos fatores mais significativos que resultam em extinção de espécies e diminuição da diversidade biológica, a perda de habitats (D'Eon *et al.*, 2002; Bergallo; Vera y Conde, 2001).

A perda de vegetação nativa e de habitat, alavanca o processo de fragmentação, durante a estruturação das rodovias. Ademais, ocorrem mudanças físico-estruturais, envolvendo modificações em corpos d'água e remoção e compactação de solo. Ao decorrer do início da utilização das mesmas, com os impactos oriundos das poluições química, sonora e luminosa, criados pelo tráfego e microclima locais, ocorre a degradação do habitat adjacente, a maior facilidade de espécies exóticas serem introduzidas e a grande mortalidade de espécimes por atropelamento (Bager, 2017).

Para contornar este impacto crescente, é necessário o planejamento e execução de ações mitigatórias eficazes para cada situação encontrada. Por ser algo novo no Brasil e que ainda carece de estudos avaliando como e por que ocorrem tantas colisões em rodovias e ferrovias, a quantidade de dados sobre estes impactos ambientais é limitada. Por exemplo, o primeiro viaduto para travessia de fauna feito no país (Figura 6) foi resultado de uma determinação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) para uma Licença de Instalação da construção do Ramal Ferroviário Sudeste do Pará em maio de 2017 (IBAMA, 2017).



Figura 6: Primeiro viaduto para travessia de fauna do Brasil.
Fonte: Ibama, 2017.

De acordo com a Figura 3, os grupos de medidas mitigatórias citadas pelos autores dos trabalhos em revisão são limitados em suas aplicabilidades, com os principais sendo construção de passagens de fauna e cercas e sinalização e controle da via. O grupamento “construção de passagens de fauna e cercas” divide-se entre diversas intervenções estruturais, que guiam os animais de forma segura e estratégica de uma área à outra, resumidas em viadutos, passagens inferiores, passagens de nível e cercas que servem para prevenir a entrada de animais nas vias, além de também guiá-los às passagens quando usadas juntas (Aquino; Nkomo, 2021).

“Sinalização e controle da via” constitui-se de equipamentos e marcações das vias, como redutores e controladores de velocidade (quebra-molas, lombadas e radares) e seus reposicionamentos (taxa de atropelamentos varia conforme estações) e ampliação, placas de sinalização de velocidade e de animais na pista chamativas e informativas, sinalização horizontal no asfalto onde tenha ocorrido fatalidades de fauna e sistemas de detecção de animais (sensores de movimento e câmeras) (Oliveira, 2018; Abra, 2019; Oliveira, 2011).

“Melhoria na infraestrutura da rodovia e margens” engloba o reflorestamento ao redor das vias (exceto margens) e passagens, facilitando a permeabilidade dessas, e a manutenção de passagens, cercas e outras medidas mitigatórias utilizadas (Assis; Giacomini; Ribeiro, 2019; Ciocheti, 2017).

“Redução da presença de animais domésticos” direciona-se para programas de educação contra abandono, informando sobre transmissões de doença, biodiversidade local, estabelecendo uma data limite de iniciação de um projeto de remoção de animais domésticos soltos (eutanásia ou adoção), especialmente para cães e gatos, além de reforçar a ilegalidade do abandono e os problemas em alimentar animais domésticos ferais (Abra, 2019).

“Legislação, fiscalização e burocracia” compreende processos de licenciamento ambiental e avaliação de impacto ambiental bem planejados, podendo resultar no requerimento para a instauração de medidas mitigatórias, assim como a obtenção de dados confiáveis e precisos oriundos de reportagem de atropelamentos, pois carcaças sofrem influência de permanência nas vias de carnicheiros, clima e tráfego, e reforço nas leis de trânsito (Aquino; Nkomo, 2021; Teixeira, 2015; Abra, 2019).

“Educação ambiental” abrange ensinar a população sobre a necessidade e o porquê de se preservar o meio ambiente, trazendo um olhar crítico com os problemas ambientais para os cidadãos, promovendo a preservação e conservação dos recursos naturais (Oliveira, 2018; De Araújo; Ribeiro; Teles, 2019). E nisto, focando, também, nos problemas envolvendo rodovias e como podemos reduzir nosso impacto ambiental na construção e uso delas.

“Aplicação de tecnologia” cita o uso de ferramentas úteis para as análises de padrões de atropelamento em espaço e tempo, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a ampliação da ciência cidadã, por meio da utilização de *smartphones* e aplicativos de internet para a observação e registro de colisões com fauna (Aquino; Nkomo, 2021).

Além dos grupos de medidas citadas acima, é importante ressaltar ações que fornecem informações essenciais para um planejamento e execução de medidas mitigatórias, como estudos para descobrir hotspots de atropelamentos – locais em uma via onde há maior ocorrência de atropelamentos – e espécies em maior risco na região, análise das características biológicas e comportamentais das espécies locais e variáveis do trânsito para melhor escolha das estruturas das passagens, análise das características da paisagem e da diferença na frequência de colisões entre as estações chuvosa e seca e planejamento do monitoramento a longo prazo de qual porção das populações de animais silvestres tendem a sofrerem mais colisões (De Araújo; Ribeiro; Teles, 2019; Oliveira, 2011; Monge-Nájera, 2018; Ciocheti, 2014).

O Brasil, assim como outros países com biodiversidade alta, deveria planejar e utilizar medidas mitigatórias abrangendo várias espécies ao invés de uma ou poucas espécies, como é feito em países de regiões temperadas, onde medidas como viadutos vegetados e passagens subterrâneas abrangem poucas espécies, às vezes focando até em somente uma espécie (Grilo *et al.*, 2009). Principalmente, ao se levar em conta que os mamíferos mais atropelados são aqueles com comportamentos mais generalistas, mais flexíveis ou mais comuns, como, por exemplo, *Cerdocyon thous* e *Lepus europaeus* (espécie exótica) (Oliveira, 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As regiões do Brasil onde foram registrados os maiores índices de atropelamentos de mamíferos foram, do maior para o menor, sudeste, sul, centro-oeste, nordeste e norte. As medidas mitigatórias citadas são resumidas em sete grupos: construção de passagens de fauna e cercas; melhoria na infraestrutura da rodovia e margens; redução da presença de animais domésticos; sinalização e controle da via; legislação, fiscalização e burocracia; educação ambiental e; aplicação de tecnologia.

A biodiversidade brasileira é uma das que mais sofrem com mortalidade devido à atropelamentos, sendo estes um dos principais causadores de redução de populações de animais nos ecossistemas podendo levar espécies à extinção. A utilização de medidas mitigatórias para a redução dos impactos das rodovias na fauna é recente no Brasil e ainda carece de estudos para um melhor planejamento e execução, a fim de não comprometer suas eficácias.

Em teoria, muitas informações sobre as medidas utilizadas nas rodovias de outros países, onde as medidas usadas podem não ser as mais promissoras nas vias brasileiras, como alguns tipos de passagens subterrâneas e de viaduto, podem servir de base para as rodovias nacionais, levando em consideração as análises e modificações necessárias para as adequarem às demandas da fauna do Brasil.

A falta de uma comunicação eficiente entre autoridades governamentais, concessionárias administradoras de vias, pesquisadores e profissionais da área ambiental prejudica o avanço das ações e do desenvolvimento de métodos para a conservação dos ecossistemas onde se encontra as malhas viárias do país.

São essenciais uma atenção e um investimento adequados por parte desses grupos, sejam públicos ou privados, para que seja concretizado uma relação saudável entre conservação de fauna e rodovias.

REFERÊNCIAS

ABRA, Fernanda Delborgo. **Mammal-vehicle collisions on toll roads in São Paulo State: implications for wildlife, human safety and costs for society**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ABRA, Fernanda Delborgo. **Monitoramento e avaliação das passagens inferiores de fauna presentes na rodovia SP-225 no município de Brotas, São Paulo**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ASSIS, Jasmine de Resende. **Identificação das zonas de conflito entre onças-pintadas e a atividade pecuária no Brasil**. 2020. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação dos Recursos Naturais) - Universidade Federal de Uberlândia, 2020. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.127>.

ASSIS, Julia Camara de; GIACOMINI, Henrique Corrêa; RIBEIRO, Milton Cezar. **Road Permeability Index: Evaluating the heterogeneous permeability of roads for wildlife crossing**. *Ecological Indicators*, v. 99, p. 365-374, 2019.

BAGATINI, Tathiana. **Evolução dos índices de atropelamento de vertebrados silvestres nas rodovias do entorno da estação ecológica Águas Emendadas, DF, Brasil, e eficácia de medidas mitigadoras**. 2006. 67 f., il. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

BAGER, Alex *et al.* **Os caminhos da conservação da biodiversidade brasileira frente aos impactos da infraestrutura viária**. *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*, n. 1, p. 75-86, 2016.

BAGER, Alex. **Estratégia Nacional para a Mitigação de Impactos da Infraestrutura Viária na Biodiversidade**. 2017. Disponível em: <<https://sites.google.com/ecoestradas.org/bioinfrabrasil/publica%C3%A7%C3%B5es-oficiais>>. Acesso em: 14 jan. 2022.

BAGER, Alex; FONTOURA, Vanessa. **Ecologia de estradas no Brasil—Contexto histórico e perspectivas futuras**. *Ecologia de Estradas: Tendências e Pesquisas*, p. 13-34, 2012.

BERGALLO, Helena de Godoy; VERA Y CONDE, Carla Fabiane. **A Estrada do Colono e o Parque Nacional do Iguçu**. *Ciência Hoje*, 29 (174): 37-39, 2001.

Castro, Érika Paula; Bager, Alex. **Sistema Urubu: A Ciência Cidadã Em Prol Da Conservação Da Biodiversidade**. *Revista Brasileira de Tecnologias Sociais* 6(2): 111–130. 2019. <https://doi.org/10.14210/rbts.v6n2.p111-130>.

Central Intelligence Agency. CIA. **The World Factbook**. Disponível em:<<https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/brazil/#transportation>>. Acesso em: 13 jan. 2022.

Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas. CBEE. **Atropelômetro**. Lavras, MG. Disponível em <<http://cbee.ufla.br/portal/atropelometro/>>. Acesso em 27 set. 2020.

CHANDLER, Mark *et al.* **Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring**. *Biological Conservation*, v. 213, p. 280-294, 2017.

CIOCHETI, Giordano *et al.* **Highway widening and underpass effects on vertebrate road mortality**. *Biotropica*, v. 49, n. 6, p. 765-769, 2017.

CIOCHETI, Giordano. **Spatial and temporal influences of road duplication on wildlife road kill using habitat suitability models**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos.

CLEVENGER, Anthony P.; FORD, Adam T. **Wildlife crossing structures, fencing, and other highway design considerations**. *Safe Passages—Highways, Wildlife, and Habitat Connectivity*, p. 424, 2010.

COSTA, Aline Saturnino; ASCENSAO, Fernando; BAGER, Alex. **Mixed sampling protocols improve the cost-effectiveness of roadkill surveys**. *Biodiversity and Conservation*, v. 24, n. 12, p. 2953-2965, 2015.

DE ARAÚJO, Danielle Rodrigues; RIBEIRO, Paulo; TELES, Leonardo Teófilo. **Can human demographic or biological factors influence mammal roadkill? A case study in the GO-060 highway**. *Oecologia Australis*, v. 23, n. 1, 2019.

DICKINSON, Janis L. *et al.* **The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement**. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 10, n. 6, p. 291-297, 2012.

D'EON, Robert G. *et al.* **Landscape connectivity as a function of scale and organism vagility in a real forested landscape**. *Conservation Ecology*, 6(2): 10, 2002.

ERRITZOE, Johannes; MAZGAJSKI, Tomasz D.; REJT, Łukasz. **Bird casualties on European roads—a review**. *Acta Ornithologica*, v. 38, n. 2, p. 77-93, 2003.

FORMAN, Richard Townsend Turner *et al.* **Road ecology: science and solutions**. Island press, 2003.

GLISTA, David J.; DEVAULT, Travis L.; DEWOODY, James Andrew. **A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways**. *Landscape and urban planning*, v. 91, n. 1, p. 1-7, 2009.

GODBOUT, Guillaume; OUELLET, Jean-Pierre. **Habitat selection of American marten in a logged landscape at the southern fringe of the boreal forest**. *Ecoscience*, v. 15, n. 3, p. 332-342, 2008.

GRAY, Steven *et al.* **Combining participatory modelling and citizen science to support volunteer conservation action.** *Biological conservation*, v. 208, p. 76-86, 2017.

GRILO, Clara.; BISSONETTE, John A.; SANTOS-REIS, Margarida. **Spatial-temporal patterns in Mediterranean carnivore Road casualties: Consequences for mitigation.** *Biological Conservation*, 142: 301-313, 2009.

HUIJSER, Marcel. P.; MCGOWEN, Pat. T. **Reducing wildlife-vehicle collisions.** Island Press: Washington, DC, USA, 2010.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis. IBAMA. **Empreendimento licenciado pelo Ibama instala primeiro viaduto para travessia de fauna do país.** Brasília, DF. Disponível em:<<https://ibama.gov.br/noticias/422-2017/1084-empreendimento-licenciado-pelo-ibama-instala-primeiro-viaduto-para-travessia-de-fauna-do-pais>>. Acesso em: 27 set. 2020.

MARSH, David M. *et al.* **Forest roads as partial barriers to terrestrial salamander movement.** *Conservation biology*, v. 19, n. 6, p. 2004-2008, 2005.

MCGREGOR, Rachelle L.; BENDER, Darren J.; FAHRIG, Lenore. **Do small mammals avoid roads because of the traffic?** *Journal of Applied Ecology*, v. 45, n. 1, p. 117-123, 2008.

Ministério da Infraestrutura. **Rodovias Federais – Mapas.** Disponível em:<<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transporte-terrestre/rodovias-federais/rodovias-federais-mapas>>. Acesso em: 25 nov. 2021.

Ministério da Infraestrutura. **Rodovias Federais – Informações Gerais – Sistema Federal de Viação.** Disponível em:< https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transporte-terrestre_antigo/rodovias-federais/rodovias-federais-informacoes-gerais-sistema-federal-de-viacao>. Acesso em: 17 jun. 2022.

Moher, David *et al.* **Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement.** *PloS Medicine*, 151, 264-269, 2009.

MONGE-NÁJERA, Julián. **Road kills in tropical ecosystems: a review with recommendations for mitigation and for new research.** *Revista de biologia tropical*, v. 66, n. 2, p. 722-738, 2018.

MONGE-NÁJERA, Julián; SEAS, Carolina. **Citizen science and roadkills: trends along project lifespan and comparison of tropical and temperate projects.** *UNED Research Journal*, v. 10, n. 1, 2018.

ODDONE AQUINO, Ayrton Gino Humberto Emilio; NKOMO, S.'phumelele Lucky. **Spatio-temporal patterns and consequences of road kills: a review.** *Animals*, v. 11, n. 3, p. 799, 2021.

DE OLIVEIRA, Adriana Nepomuceno. **Padrões espacial e temporal do atropelamento de mamíferos em uma rodovia no Cerrado brasileiro.** 2011. 51 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, 2011.

DE OLIVEIRA, Gabriela Schuck. **A mortalidade de fauna invisível no nosso cotidiano**. 2018. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

SANTOS, Rodrigo Augusto Lima *et al.* **Predicting wildlife road-crossing probability from roadkill data using occupancy-detection models**. *Science of the total environment*, v. 642, p. 629-637, 2018.

TEIXEIRA, Fernanda Zimmermann. **Trilhando caminhos para avaliar padrões espaciais de mortalidade e fragmentação em rodovias**. 2015. Tese (Doutorado em Ciências com ênfase em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

THURFJELL, Henrik *et al.* **Avoidance of high traffic levels results in lower risk of wild boar-vehicle accidents**. *Landscape and Urban Planning*, v. 133, p. 98-104, 2015.

TROMBULAK, Stephen C.; FRISSELL, Christopher A. **Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities**. *Conservation biology*, v. 14, n. 1, p. 18-30, 2000.