



Universidade de Brasília – UNB  
Instituto de Ciências Humanas - IH  
Departamento de Geografia – GEA  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**GEOGRAFIA EM ESTRADAS: PERSPECTIVA GEOGRÁFICA E ANÁLISE  
DOS IMPACTOS NEGATIVOS DAS RODOVIAS EM UNIDADES DE  
CONSERVAÇÃO DO DISTRITO FEDERAL - DF.**

**Tatiana Rolim Soares Ribeiro**

Tese de Doutorado

Brasília-DF: Junho/2023



Universidade de Brasília – UNB  
Instituto de Ciências Humanas - IH  
Departamento de Geografia – GEA  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**GEOGRAFIA EM ESTRADAS: PERSPECTIVA GEOGRÁFICA E ANÁLISE  
DOS IMPACTOS NEGATIVOS DAS RODOVIAS EM UNIDADES DE  
CONSERVAÇÃO DO DISTRITO FEDERAL - DF.**

Tatiana Rolim Soares Ribeiro

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ruth Elias de Paula Laranja

Tese de Doutorado

Brasília-DF: Junho/2023



Universidade de Brasília – UNB  
Instituto de Ciências Humanas - IH  
Departamento de Geografia – GEA  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

**GEOGRAFIA EM ESTRADAS: PERSPECTIVA GEOGRÁFICA E ANÁLISE  
DOS IMPACTOS NEGATIVOS DAS RODOVIAS EM UNIDADES DE  
CONSERVAÇÃO DO DISTRITO FEDERAL - DF.**

**Tatiana Rolim Soares Ribeiro**

Tese de Doutorado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Geografia, Área de Concentração: Análise de Sistemas Naturais.

Aprovado por:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ruth Elias de Paula Laranja  
(Orientadora) UNB

---

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Rafael Rodrigues da Franca  
(Examinador)  
Brasília, DF

---

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Yuri Tavares Rocha  
(Examinador externo)  
Brasília, DF

---

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Fabrício Escarlata Tavares  
(Examinador externo)  
Brasília, DF

---

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Francisco da Silva Costa  
(Examinador externo)  
Universidade do Minho/Portugal

Brasília – DF, 28 de Junho de 2023



Universidade de Brasília – UNB  
Instituto de Ciências Humanas - IH  
Departamento de Geografia – GEA  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

RIBEIRO, TATIANA ROLIM SOARES

Geografia em Estradas: Perspectiva Geográfica e Análise dos Impactos Negativos das Rodovias em Unidades de Conservação do Distrito Federal – DF, 87p., (UnB-PPGEA, Doutor, Análise de Sistemas Naturais, 2023).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília, Departamento de Geografia.

- |                                      |                                       |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Ecologia de Estradas              | 2. Revisão Sistemática                |
| 3. Colisões entre Animais e Veículos | 4. Zona de Efeito de Ruído Rodoviário |
| I. UnB-PPGEA                         | II. Título (série)                    |

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Tatiana Rolim Soares Ribeiro

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e à minha família pelo amor e o apoio sempre incondicionais.

Ao Rodrigo, pelo amor, carinho, dedicação e por estarmos juntos desde o início neste desafio, a quem também agradeço a participação e dedico este trabalho.

À Prof. Dr<sup>a</sup>. Ruth, minha orientadora, pela disponibilidade, companhia, atenção, orientação e oportunidades. Mas principalmente, pelos ensinamentos de paciência, companheirismo e humildade.

À UnB e ao PPGGEA pela oportunidade de participar do programa que certamente me proporcionou novos aprendizados que vão muito além da titulação.

A todos os professores, funcionários e aos colegas pela confiança e oportunidade.

Agradeço aos amigos pela paciência e compreensão diante da minha ausência em tantos eventos e encontros.

Aos meus irmãos, Clá e Arthur, que mesmo tão jovens foram compreensivos e me apoiaram em toda essa caminhada.

Aos meus pais, Ademir e Mariuska, sempre amados e queridos. Toda a luz na minha jornada devo a vocês.

Ao meu avô, Ari, de quem sinto imensas saudades sempre.

E, ao Gandalf e à Yuki, pela companhia ao som de um contínuo ronronar.

## I. LISTA DE FIGURAS

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 1a - Artigos sobre Ecologia de Estradas publicados entre 2012 e 2022 .....  | Página 18 |
| Figura 2a - Tópicos em Ecologia de Estradas .....                                  | Página 21 |
| Figura 3a - Diagrama de caixas sobre a distribuição de tópicos abordados .....     | Página 22 |
| Figura 4a - Distribuição geográficas das publicações em Ecologias de Estradas .... | Página 24 |
| Figura 1b - Localização e definição da área de estudo .....                        | Página 38 |
| Figura 2b - Limites da área de estudo .....                                        | Página 40 |
| Figura 3b - Variações mensais das CAV e das infrações em 2013 .....                | Página 42 |
| Figura 4b - Gradiente dos volumes de tráfego (TMD) .....                           | Página 45 |
| Figura 5b - Diagramas de caixas sobre a distribuição das CAV .....                 | Página 47 |
| Figura 1c - Mapa de localização .....                                              | Página 59 |
| Figura 2c - Espacialização das ZERV nas UCPI .....                                 | Página 66 |
| Figura 3c - Relação entre médias do VMD e extensão das UCPI .....                  | Página 70 |
| Figura 4c - Sobreposição das ZERV e vegetação nativa .....                         | Página 73 |

## II. LISTA DE TABELAS

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tabela 1a - Tópicos abordados em Ecologia de Estradas .....        | Página 19 |
| Tabela 2a - Abordagens em atropelamentos de fauna .....            | Página 20 |
| Tabela 3a - Categorias das áreas de pesquisa atuantes .....        | Página 27 |
| Tabela 1b - Coeficientes de correlação de postos de Spearman ..... | Página 40 |
| Tabela 2b - CAV e índices de diversidade .....                     | Página 43 |
| Tabela 3b - Teste de Wilcoxon para a SV .....                      | Página 46 |
| Tabela 1c - UCPI avaliadas e trechos rodoviários influentes .....  | Página 61 |
| Tabela 2c - Áreas estimadas de atenuação do ruído sonoro .....     | Página 67 |
| Tabela 3c - Classificação da paisagem nas ZERV .....               | Página 70 |
| Tabela 4c - IFI nas UCPI de Brasília – DF .....                    | Página 72 |

## III. LISTA DE ABREVIATURAS

|                                                               |      |
|---------------------------------------------------------------|------|
| Agência Central de Inteligência dos Estados Unidos da América | CIA  |
| Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas                     | CBEE |
| Colisões entre Animais e Veículos                             | CAV  |
| Confederação Nacional do Transporte                           | CNT  |

|                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| Controladores Eletrônicos de Velocidade                           | CEV        |
| Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal            | DER - DF   |
| Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes            | DNIT       |
| Distrito Federal                                                  | DF         |
| Estação Ecológica de Águas Emendadas                              | ESECAE     |
| Estação Ecológica do Jardim Botânico                              | ESECJB     |
| Floresta Nacional Brasília                                        | FNB        |
| Índice de Fragmentação da Infraestrutura Rodoviária               | IFI        |
| Instituto Brasília Ambiental                                      | IBRAM      |
| Ministério do Meio Ambiente                                       | MMA        |
| Parque Nacional de Brasília                                       | PNB        |
| Plano Nacional de Contagem de Tráfego                             | PNCT       |
| Proteção Integral                                                 | PI         |
| Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno | RIDE-DF    |
| Reserva Biológica do Cerradão                                     | REBIOCER   |
| Reserva Biológica do Guará                                        | REBIOGUARÁ |
| Reserva Biológica do Jardim Botânica                              | REBIOJB    |
| Reserva Biológica do Rio Descoberto                               | REBIORD    |
| Sinalização Vertical                                              | SV         |
| Sistema Nacional de Unidades de Conservação                       | SNUC       |
| Sistema Rodoviário do DF                                          | SRDF       |
| Tráfego Médio Diário                                              | TMD        |
| Unidade de Conservação                                            | UC         |
| Unidade de Conservação de Proteção Integral                       | UCPI       |
| Uso Sustentável                                                   | US         |
| Volume Médio Diário                                               | VMD        |
| Zona de Efeito Rodoviário                                         | ZER        |
| Zona de Efeito do Ruído Viário                                    | ZERV       |

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                                                                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. CAPÍTULO I - O PAPEL E A ATUAÇÃO DA GEOGRAFIA EM ESTUDOS SOBRE OS IMPACTOS DAS RODOVIAS NO BRASIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.....</b> | <b>8</b>  |
| <b>1. 1. Introdução.....</b>                                                                                                              | <b>9</b>  |
| <b>1.2. O papel da Geografia na Ecologia de Estradas.....</b>                                                                             | <b>10</b> |
| <b>1.3. Objetivos específicos .....</b>                                                                                                   | <b>14</b> |
| <b>1.4. Métodos de Pesquisa .....</b>                                                                                                     | <b>14</b> |
| 1.4.1. Busca e Parâmetros de Seleção dos Estudos.....                                                                                     | 14        |
| 1.4.2. Organização e Elaboração da Base de dados .....                                                                                    | 16        |
| 1.4.3. Análise .....                                                                                                                      | 16        |
| <b>1.5. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....</b>                                                                               | <b>17</b> |
| <b>1.6. Resultados e Discussão.....</b>                                                                                                   | <b>17</b> |
| 1.6.1. Histórico e composição das publicações.....                                                                                        | 17        |
| 1.6.2. Tópicos em Ecologia de Estradas .....                                                                                              | 19        |
| 1.6.3. Distribuição de publicações em Ecologia de Estradas.....                                                                           | 23        |
| 1.6.4. Áreas de pesquisa mais atuantes em Ecologia de Estradas e oportunidades para a Geografia .....                                     | 26        |
| 1.7. Considerações Finais.....                                                                                                            | 29        |
| <b>1.8. Bibliografia .....</b>                                                                                                            | <b>30</b> |
| <b>2. CAPÍTULO II - DINÂMICA DAS RODOVIAS: O PAPEL DO TRÁFEGO NOS ÍNDICES DE ATROPELAMENTOS DE FAUNA. ....</b>                            | <b>34</b> |
| <b>2.1. Introdução.....</b>                                                                                                               | <b>35</b> |
| <b>2.2. Materiais e Métodos.....</b>                                                                                                      | <b>37</b> |
| 2.2.1. Área de estudo.....                                                                                                                | 37        |
| 2.2.2. Obtenção dos Dados.....                                                                                                            | 38        |
| 2.2.3. Análises Estatísticas .....                                                                                                        | 39        |
| <b>2.3. Resultados e Discussão.....</b>                                                                                                   | <b>41</b> |
| <b>2.4. Conclusões.....</b>                                                                                                               | <b>48</b> |



|                                                                                                                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2.5. Bibliografia .....</b>                                                                                                                                                 | <b>49</b> |
| <b>3. CAPÍTULO III – DELIMITAÇÃO DAS ZONAS DE EFEITO DO RUÍDO RODOVIÁRIO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL: UM ESTUDO DE CASO NO DISTRITO FEDERAL – DF .....</b> | <b>53</b> |
| <b>3.1. Introdução.....</b>                                                                                                                                                    | <b>54</b> |
| 3.1.1. Dimensão Espacial das Zonas de Efeito Rodoviário sobre as UCPI do DF .....                                                                                              | 56        |
| 3.1.2. Fragmentação dos habitats afetados por rodovias.....                                                                                                                    | 57        |
| 3.1.3. Objetivos específicos .....                                                                                                                                             | 58        |
| <b>3.2. Procedimentos Metodológicos.....</b>                                                                                                                                   | <b>58</b> |
| 3.2.1. Área de Estudo .....                                                                                                                                                    | 58        |
| 3.2.2. Estimativa da Zona de Efeito do Ruído Viário (ZERV).....                                                                                                                | 62        |
| 3.2.2.1. Estimativa do ruído de tráfego rodoviário .....                                                                                                                       | 62        |
| 3.2.2.2. Atenuação do Ruído de Tráfego com a Distância .....                                                                                                                   | 63        |
| 3.2.2.3. Índice de Fragmentação em ambiente rodoviário.....                                                                                                                    | 64        |
| <b>3.3. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....</b>                                                                                                                    | <b>65</b> |
| <b>3.4. Resultados e Discussão.....</b>                                                                                                                                        | <b>66</b> |
| 3.4.1. Níveis de Pressão Sonora e definição das ZERV.....                                                                                                                      | 66        |
| 3.4.2. Índices de Fragmentação em ZERV .....                                                                                                                                   | 71        |
| <b>3.5. Considerações Finais.....</b>                                                                                                                                          | <b>74</b> |
| <b>3.6. Bibliografia .....</b>                                                                                                                                                 | <b>75</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA GERAL .....</b>                                                                                                                                                | <b>79</b> |

## **APRESENTAÇÃO**

A construção de rodovias foi, durante anos, relacionada ao desenvolvimento econômico e social de muitos países. Essa visão foi justificada pelos benefícios associados à mobilidade urbana, à rapidez no intercâmbio de produtos e ao processo de urbanização (PEREIRA; LESSA, 2011). Em países emergentes, é comum a concentração do transporte de mercadorias no modal viário e o Brasil não é exceção (VASCONCELOS, 2000; IBGE, 2014).

Tendo em vista que o território brasileiro vem sendo reconhecido internacionalmente pela sua riqueza natural e pela importância do seu empenho em preservá-la (ONU, 1992; ONU, 2012), o Brasil pode apresentar um cenário conflitante em áreas especialmente protegidas, que devido às suas características singulares, ficam expostas aos impactos diretos e indiretos de autoestradas. Dessa forma, é evidente a importância de estudos que visem compreender os efeitos das rodovias em áreas resguardadas e avaliar a eficácia e a efetividade de estruturas que visem minimizar os danos da operação deste tipo de transporte sobre as unidades de conservação brasileiras.

## RESUMO

O impacto das estruturas do transporte rodoviário é contínuo e estende-se por todo o território brasileiro. A presente tese constitui-se de três artigos desenvolvidos com o intuito de dimensionar a atuação e de apresentar a importância da Geografia na elaboração de estudos que abordam os principais impactos da operação de rodovias sobre a biota brasileira. O primeiro artigo foi elaborado com o objetivo de avaliar a atuação da geografia em estudos que abordam os impactos das rodovias sobre a fauna ou da flora no Brasil a partir de uma revisão sistemática na literatura entre os anos de 2012 e 2022. Os principais resultados encontrados evidenciam uma tendência positiva de publicações sobre ecologia de estradas no Brasil nos últimos dez anos. A maioria, é composta de estudos empíricos que se concentraram na região Sudeste do país (35,2%) e abordam os efeitos dos atropelamentos de fauna (51,9 %). A atuação da Geografia em ecologia de estradas ainda é incipiente e poucos estudos sobre o tema foram realizados na região Nordeste. O segundo, buscou avaliar de que forma a velocidade de veículos e o volume de tráfego influenciam a taxa de atropelamentos de animais silvestres em unidades de conservação inseridas em ambientes urbanos. Os resultados indicam uma correlação positiva fraca entre atropelamentos e o volume de tráfego anual ( $\rho = 0,470$ ;  $p < 0,05$ ). Não foram encontradas significâncias estatísticas nos índices de correlação entre atropelamentos e infrações de excesso de velocidade e não há evidências de que a inserção da sinalização vertical (SV) surtiu efeito sobre os registros de atropelamentos a 200m ( $V=387$ ;  $p > 0,3$ ) ou a 500m ( $V=437,5$ ;  $p > 0,5$ ) da SV. A análise dos dados evidencia uma possível seleção da fauna habituada ao ambiente rodoviário nas colisões entre animais e veículos (CAV) e a consequente intensificação do efeito de borda, da fragmentação e do isolamento de espécies nas UC adjacentes. O terceiro, trata-se de um estudo de caso realizado no Distrito Federal que visa espacializar a zona de efeito de ruído viário (ZERV) gerada pela poluição acústica do tráfego de veículos e avaliar o grau de vulnerabilidade associado à desconexão dos habitats afetados. Os resultados obtidos evidenciam que UCPI com áreas inferiores a 5km<sup>2</sup> e próximas a trechos viários com volumes médios diários superiores a 60.000 veículos são as mais suscetíveis aos possíveis efeitos das mudanças na composição das espécies relacionadas aos comportamentos aversivos ou adaptativos que podem ser observados em grupos que dependem da vocalização para eventos sociais e reprodutivos. Dentre as seis UCPI avaliadas, a REBIO Guará foi a única com valor de IFI considerado muito alto. A UC é segmentada em duas partes por uma via movimentada. A sobreposição dos dados de classificação da paisagem à espacialização das ZERV para níveis de ruído superiores aos 70 dB(A) evidenciam que as áreas sensíveis das UCPI são heterogêneas e que são necessários estudos para avaliar a viabilidade das populações expostas à degradação dos habitat nas ZERV.

## ABSTRACT

The impact of road transport structures is a continuous event and extends throughout the Brazilian territory. This thesis consists of three articles aiming to scale the performance and to present the importance of Geography in the preparation of studies that address the main impacts of highway operation on the Brazilian biota. The first article was developed with the objective of evaluating the role of geography in studies that address the impacts of highways on fauna or flora in Brazil from a systematic review in the literature between 2012 and 2022. The main results show a positive trend of publications on road ecology in Brazil in the last ten years. The majority of them is composed of empirical studies that were concentrated in the Southeast region of the country (35.2%) and address the effects of wildlife roadkill (51.9%). The role of geography in road ecology is still incipient and few studies were conducted in Northeast. The second article sought to evaluate how the speed of vehicles and the volume of traffic influence the rate of roadkill of wild animals in protected areas inserted in urban environments. The results indicate a weak positive correlation between road accidents and annual traffic volume ( $\rho = 0.470$ ;  $p < 0.05$ ). No statistical significance was found in the correlation indexes between roadkill and speeding infractions and there is no evidence that the insertion of vertical signaling (SV) had an effect on the records of roadkill at 200m ( $V=387$ ;  $p > 0.3$ ) or at 500m ( $V=437.5$ ;  $p > 0.5$ ) of SV. The data analysis shows a possible selection of the fauna that is used to the road environment in collisions between animals and vehicles (CAV) and the consequent intensification of the edge effect, fragmentation and isolation of species in adjacent UC. The third article is a case study carried out in the Federal District that aims to spatialize the zone of road noise effect (ZERV) generated by noise pollution from vehicle traffic and assess the degree of vulnerability associated with the disconnection of affected habitats. The results show that UCPI with areas less than 5km<sup>2</sup> and close to road stretches with average daily volumes greater than 60,000 vehicles are the most susceptible to the possible effects of changes in the composition of species related to aversive behaviors or that can be observed in groups that depend on vocalization for social and reproductive events. Among the six UCPI evaluated, the REBIO Guar was the only one with IFI value considered very high. The UC is segmented into two parts by a busy route. Overlapping landscape classification data with ZERV spatialization for noise levels above 70 dB(A) sensitive areas of the UCPI are heterogeneous and studies are needed to assess the viability of populations exposed to habitat degradation in the ZERV.

## INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um país de extensão continental reconhecido mundialmente por seus esforços em proteger sua riqueza ambiental (BRASIL, 1981; BRASIL, 1988; CONAMA, 1986; ONU, 1992; CONAMA, 1997; BRASIL, 2000; BRASIL, 2011; ONU, 2012). O acesso ao meio ambiente saudável é garantido pela constituição do país, que conta com uma robusta agenda ambiental e visa garantir o seu desenvolvimento econômico sem deixar que o processo produtivo afete de forma irreversível a dinâmica dos sistemas naturais (BRASIL, 1988).

Um dos principais entraves na ascensão da economia brasileira é a concentração da matriz de transportes no modal rodoviário (BOTELHO *et al.*, 2018; CNT, 2018). Para além das questões ambientais, o escoamento de produtos no país tem sua eficácia amortecida pelos problemas do sistema “único” de transporte. Além da ineficaz logística no deslocamento de produtos, o modal rodoviário possui ainda elevada demanda energética e gera impactos significativos ao meio ambiente (CORREA; RAMOS, 2011; ELLER; JUNIOR; CURI, 2013; VAN DER REE, 2011).

Dentre os danos associados às linhas de operação viária, os efeitos da fragmentação, da perda de habitats e os atropelamentos de animais silvestres estão entre os principais impactos negativos dessas infraestruturas sobre a biota influenciada (TROMBULAK; FRISSEL, 2000; HOOPER *et al.*, 2012; VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015; JAEGER, 2015). O estudo desses efeitos é visto como complexo, já que abarca uma visão sistêmica e integrada que visa compreender a adaptação dos ambientes impactados e propor soluções necessárias à manutenção dos ecossistemas afetados. Para suprir as lacunas advindas da dificuldade de se compreender fenômenos sinérgicos, é necessária a atuação de diversas áreas do conhecimento (FORMAN *et al.*, 2003).

Ainda que possua uma base conceitual que nos permita avaliar o sentido sistêmico dos problemas ambientais a partir do conceito de espaço geográfico e que reflita a maneira como o meio técnico científico intermedeia a relação da sociedade com a natureza, a Geografia é uma ciência ainda pouco atuante no estudo dos impactos da implantação e da operação de estruturas rodoviárias sobre o meio ambiente (DE CAMARGO, 2005; COFFIN, 2007).

Sendo assim, na presente tese, encontram-se três artigos desenvolvidos com o intuito de dimensionar a atuação e de apresentar a importância da Geografia na elaboração de estudos que

abordam os principais impactos da operação de rodovias sobre a biota silvestre brasileira - efeito de borda, fragmentação de habitat e atropelamentos de animais silvestres.

O primeiro artigo tem o objetivo principal de avaliar a atuação da geografia em estudos que abordam os impactos das rodovias sobre a distribuição espacial da fauna ou da flora no Brasil; o segundo, busca avaliar de que forma as variáveis intrínsecas à dinâmica humana em rodovias (velocidade de veículos e volume de tráfego) influenciam a taxa de atropelamentos de animais silvestres em unidades de conservação inseridas em ambientes urbanos; o terceiro, trata-se de um estudo de caso realizado no Distrito Federal que visa espacializar a zona de efeito rodoviário viário (ZERV) gerada pelo tráfego de veículos e avaliar o grau de vulnerabilidade associado à desconexão dos habitats afetados.

# 1. CAPÍTULO I - O PAPEL E A ATUAÇÃO DA GEOGRAFIA EM ESTUDOS SOBRE OS IMPACTOS DAS RODOVIAS NO BRASIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Tatiana Ribeiro<sup>1</sup>  
Rodrigo Pedroso<sup>2</sup>  
Ruth Laranja<sup>3</sup>

## **Resumo:**

A partir de uma revisão sistemática na literatura científica, o presente artigo visou dimensionar a atuação da Geografia em publicações sobre a Ecologia de Estradas no Brasil na última década (2012 - 2022). Resultados: a tendência de novas publicações ao ano é positiva; a maioria são estudos empíricos (89,8%); concentram-se na região Sudeste do país (35,2%); a maior parte aborda os efeitos dos atropelamentos de fauna (51,9 %); e, a atuação da Geografia ainda é incipiente (3,2%). Recomenda-se: a contribuição da Geografia em todos os tópicos relativos à Ecologia de Estradas, com ênfase na da dispersão de espécies exóticas e na mortalidade da fauna durante a construção de rodovias no Nordeste do país; além do enriquecimento de discussões acerca da ampliação dos ambientes alterados por seres humanos.

**Palavras-chave:** Ecologia de Estradas; Revisão Sistemática; Biogeografia; Geografia.

## **THE ROLE OF GEOGRAPHY ON ROAD ECOLOGY IN BRAZIL: A SYSTEMATIC REVIEW.**

### **Abstract:**

From a systematic review in the scientific literature, this article aimed to scale the performance of Geography in publications on the Ecology of Roads in Brazil in the last decade (2012 - 2022). Results: the trend of publications per year is positive; most of them are empirical studies (89.8%); there is a concentration in the Southeast region of the country (35.2%); more than half addressed the effects of wildlife roadkills (51.9%); and the performance of geography is still small (3.2%). It is recommended: the contribution of Geography in all topics related to Road Ecology, with emphasis on the dispersal of exotic species and fauna mortality during the construction of highways in the Northeast of the country as well the enrichment of discussions about the expansion of human altered environments.

**Keywords:** Road Ecology; Syystematic Review; Biogeography; Geography.

## 1. 1. Introdução

A necessidade de se deslocar de um ponto a outro é inerente à atividade humana. O ato de construir caminhos e trilhas que facilitam a mobilidade e permitam o acesso às novas áreas perde-se no tempo e está presente na dinâmica das antigas civilizações (HOOKE, 2000; VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015). As técnicas de construção de novas estradas foram aprimoradas conforme novas tecnologias de transporte foram implementadas e a promoção da indústria automobilística ainda é tida como um marco na economia mundial, incentivando a construção de redes de transporte viário cada vez mais complexas pelo mundo (HOOKE, 2000; PASSOS, 2017; BOTELHO, *et al.*, 2018). O papel das estradas é tão relevante à atividade econômica global que, hoje, a maior parte dos continentes são segmentados por linhas de transporte rodoviário (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015; NELBOLD *et al.*, 2015). Segundo os dados da Agência Central de Inteligência dos Estados Unidos da América (CIA), em 2013, rodovias e estradas estendiam-se por 64.285.009 quilômetros do território mundial.

A ascensão das rodovias trouxe consigo uma série de questões ambientais que começaram a chamar a atenção da comunidade científica ainda no início do século XX (STONER, 1925; DICKERSON, 1939). As faixas de rodagem de veículos, pavimentadas ou não, são linhas que cortam áreas contínuas, expondo-as à supressão da vegetação, à compactação do solo, à emissão de gases provenientes da queima de combustíveis, à emissão de ruídos, às alterações na composição da biota original, à facilitação na colonização novas áreas por seres humanos e à constante remoção de estoque de fauna por atropelamentos (SPELLERBERG, 1998; TROMBULAK; FRISSELL, 2000; FORMAN *et al.*, 2003; COFFIN, 2007; VAN DER REE *et al.*, 2011; GUNSON; MONTRAKIS; QUACKENBUSH, 2011; PASSOS, 2017). Somados aos danos ambientais, estão os consequentes impactos provenientes da operação de rodovias sobre a justiça social, a saúde e o bem-estar humanos (EGAN, *et al.*, 2003; NELBOLD *et al.*, 2015).

A vertente humana apresenta uma dinâmica própria e é parte integrante do complexo arcabouço de interações entre o meio ambiente e as infraestruturas de transporte terrestre (HOOKE, 2000; BARUA, 2018). Quando sobrepostas às dinâmicas dos sistemas naturais e ao aspecto físico do espaço exposto ao empreendimento rodoviário, estas relações evidenciam o clássico conflito presente entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental. Tal antagonismo instiga o real entendimento dos mecanismos que promovem os impactos negativos em busca de novas técnicas que mitiguem ou mesmo sanem os danos ambientais associados à



construção de novos empreendimentos lineares (NELBOLD *et al.*, 2015; VAN DER REE *et al.*, 2011; BARBER *et al.*, 2014).

A Ecologia de Estradas é a área de estudo que busca compreender os impactos (positivos ou negativos) da infraestrutura do transporte terrestre sobre o meio ambiente (FORMAN *et al.*, 2003). Mas, o termo em si pode ser mal compreendido se interpretado apenas como mais um ramo da biologia, já que a ecologia tem natureza multidisciplinar e apoia-se em diversas áreas do conhecimento (COFFIN, 2007; FORMAN *et al.*, 2003; VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015).

Para além das questões ecológicas geradas pelos impactos diretos das estruturas rodoviárias, é importante compreender que as estradas são modificadoras do espaço e que criam ambientes de contato e conflito entre o homem e a natureza (FORMAN *et al.*, 2003; TROMBULAK; FRISSEL, 2000; LAURANCE; SAYER; CASSMAN, 2014;).

## **1.2. O papel da Geografia na Ecologia de Estradas**

No seu complexo mosaico de definições, a Geografia pode ser tida como a ciência que estuda a superfície terrestre não se limitando apenas às variáveis espaciais, mas expandindo-se à compreensão da relação do homem com o meio em que vive ao longo do tempo (MORAES, 2007; MOREIRA, 2010). As rodovias, por sua vez, são estruturas que existem para promover o acesso célere e facilitado do ser humano a novas áreas; e que, desde o crescimento da indústria automobilística, vêm acompanhando o desenvolvimento econômico mundial (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015). Desta relação, surgem questões concernentes à Geografia e às suas múltiplas divisões, como os aspectos físicos da paisagem (modificados pelo traçado viário), a demografia e o uso do solo (HA; SHILLING, 2017; NELBOLD *et al.*, 2015).

A implantação de linhas rodoviárias cada vez mais extensas acompanha as crescentes projeções demográficas sobre a população mundial, que preveem cerca de 11 bilhões de pessoas no mundo até o fim deste século (GERLAND *et al.*, 2014). A construção de linhas contínuas pela paisagem promove o acesso a áreas antes inabitadas e cria novas demandas para a sua expansão. Trata-se de um impacto cíclico e progressivo denominado “Desenvolvimento Contagioso”, em que a abertura de estradas propicia a criação de novos segmentos rodoviários (SELVA *et al.*, 2015).

Este impacto, porém, não se limita à transformação do espaço: a expansão traz consigo questões socioeconômicas decorrentes dos processos de colonização, de ocupação do território nas margens rodoviárias e das implicações da instalação do empreendimento viário ao desenvolvimento e ao bem-estar humano (PERZ *et al.*, 2007; KHANDKER *et al.*, 2009; O'NEILL *et al.*, 2017). Os fenômenos sociais que acompanham esses processos são objetos de estudo da Geografia Socioambiental (MENDONÇA, 2001; CARLOS, 2015).

O adensamento populacional, por sua vez, intensifica a demanda pelo transporte e contribui para a concentração de trechos rodoviários, além do aumento no volume de tráfego de veículos. Os impactos gerados promovem a busca de soluções desafiadoras como o controle sobre a expansão descontrolada do território, a análise e a elaboração de novas políticas públicas de ocupação (PASSOS, 2017; CAVALCANTE *et al.*, 2017). Tal cenário por si só se mostra como um objeto da Geografia das Populações, da Geografia Urbana ou da Geografia do Transporte, mas a análise geográfica vai além da dinâmica do fluxo de pessoas no território e perpassa pelas relações da sociedade com a natureza (COFFIN, 2007; HA; SHILLING, 2017).

A expansão das redes do transporte viário na paisagem altera o ambiente físico e biótico que envolvem as rodovias e transformam os habitats próximos (TROMBULAK; FRISSELL, 2000; FORMAN *et al.*, 2003). As etapas necessárias à construção e ao estabelecimento de uma rodovia envolvem o planejamento prévio, a delimitação de sua área, a supressão da vegetação, a compactação e o nivelamento do solo e o asfaltamento; além da construção de estruturas necessárias à sua operação - como calhas, meio fio, iluminação e pintura. Assim como em toda a construção, as pistas sofrem danos ao longo do tempo, devido a fatores físicos - chuvas, tempo de exposição ao sol, o fluxo constante de veículos pesados, entre outros - e necessitam de manutenções periódicas para seu pleno funcionamento. As mudanças no espaço físico associadas à implantação e à operação de estruturas do transporte rodoviário envolvem, portanto, fenômenos e conceitos relevantes aos principais ramos da Geografia Física, como a Geomorfologia, a Hidrologia, a Climatologia ou a Pedologia (COLTRINARI, 2001; CARLOS, 2015).

A depender da capacidade de adaptação da biota influenciada pela implantação do segmento rodoviário, as mudanças no ambiente podem ser suficientes para afetar a composição e a distribuição dos organismos nas proximidades da via (TROMBULAK; FRISSELL, 2000, FORMAN *et al.*, 2003; ROSA, 2012; NELBOLD *et al.*, 2015).

O entendimento dos impactos que decorrem das alterações na distribuição dos seres vivos no globo terrestre ao longo do tempo é o objeto de um dos ramos da ciência geográfica: a Biogeografia (TINY, 2014). Em uma vertente multidisciplinar, a Biogeografia recebe uma visão particular de várias áreas do conhecimento (TINY, 2014; COX, MOORE; LADLE, 2016). A Geografia costuma privilegiar a concepção espacial na distribuição dos seres vivos, buscando compreender qual é a relação entre as características do espaço físico e a distribuição das espécies com o passar do tempo (CAMARGO, 2000; VIADANA, 2007).

A disseminação da espécie humana, porém, modificou, e ainda modifica, a composição dos seres vivos no globo terrestre (BARNOSKY *et al.*, 2011; NELBOLD, 2015). Sendo assim, hoje, o estudo da Biogeografia em ambientes de alta densidade rodoviária incorrerá em erro de simplificação se não considerar a variável humana sobre a distribuição das espécies, já que as estradas são atributos do espaço já disseminados e intimamente relacionados à atividade antrópica (COX, MOORE; LADLE, 2005; CIA, 2013; BARBER *et al.*, 2014; LAURANCE; SAYER; CASSMAN, 2014; NELBOLD *et al.*, 2015).

A compreensão das influências das autoestradas na distribuição dos seres vivos deve, ainda, perpassar pelos impactos diretos e indiretos causados pela implantação de traços contínuos na paisagem (TROMBULAK; FRISSELL, 2000; FORMAN *et al.*, 2003). Quando nos referimos aos impactos gerados à biota, a estrutura rodoviária gera perturbações diretas, que são visíveis e mensuráveis - como a supressão da vegetação e os atropelamentos de fauna - e, perturbações indiretas, que são pouco perceptíveis e não mensuráveis - como a aversão ao ambiente rodoviário em decorrência das alterações no microclima em áreas próximas às rodovias (KOCIOLEK *et al.*, 2011).

O objeto da Geografia na matéria aqui apresentada, portanto, não está pautado apenas nas modificações do espaço promovidas pela implantação de empreendimentos rodoviários, nos efeitos do sistema de transporte terrestre no uso do solo ou mesmo em questões relacionadas à promoção do transporte sustentável (COFFIN, 2007). A análise geográfica está presente também no entendimento da dimensão dos impactos diretos e indiretos de estruturas do transporte rodoviário à biota e às suas implicações para a distribuição dos seres vivos, além do entendimento dos possíveis efeitos sociais, econômicos e ambientais sobre a possível degradação na funcionalidade dos sistemas naturais diante das crescentes projeções de expansão das rodovias (FORMAN *et al.*, 2003; KOCIOLEK *et al.*, 2011; VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015).

Apesar da ampla gama de atuação, os geógrafos possuem ainda tímida e limitada produção em Ecologia de Estradas. Mesmo em ramos de evidente relação com a matéria, como a Geografia do Transporte ou a Biogeografia, os estudos geográficos costumam restringir-se às implicações da emissão de gases da queima de combustíveis no bem-estar social, ao ordenamento territorial ou mesmo à Fitogeografia (CAMARGO, 2000; COFFIN, 2007; PASSOS, 2011; MARGARIT, 2013; PASSOS, 2017).

No Brasil, um país de economia emergente e de dimensões continentais, centrado no transporte rodoviário e que possui alta relevância ecológica, a produção científica que investiga os impactos das estruturas do transporte rodoviário sobre os sistemas naturais torna-se cada vez mais necessária (BAGER, 2007; IBGE, 2014; CNT, 2018). Para se ter ideia da dimensão dos danos causados pelas infraestruturas do transporte rodoviário brasileiro, a área de abrangência da Amazônia Legal já foi segmentada por cerca de 260.000 quilômetros de rodovias regulares e clandestinas. O valor é equivalente à distância necessária para dar cerca de seis voltas no globo terrestre (BARBER *et al.*, 2014). Segundo os dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT), as rodovias são utilizadas por mais de 60% do transporte de cargas e representam mais de 90% das vias utilizadas para o deslocamento de passageiros no Brasil (CNT, 2018).

O complexo rodoviário brasileiro estende-se por cerca de 1,7 milhões de quilômetros no território nacional (CNT, 2015). Tais vias são responsáveis pela segmentação de dois *hotspots* mundiais da biodiversidade: o Cerrado e a Mata Atlântica (MYERS, 2000; CÁCERES, 2010; IBGE, 2014; FRANÇOSO *et al.*, 2015). Por facilitarem o acesso às áreas inalteradas, as rodovias favorecem as mudanças no uso do solo e a pressão associada a essas alterações em áreas de relevante interesse ecológico promove o considerável declínio da biodiversidade (PASSOS, 2011; MARGARIT, 2013; PASSOS, 2017; LAURANCE *et al.*, 2009; NELBOLD *et al.*, 2015). Ao longo dos anos, se as perdas forem suficientes para afetar a dinâmica dos ecossistemas, a falha na prestação de serviços ecossistêmicos poderá impactar a capacidade produtiva brasileira, que está centrada no agronegócio (FEARNSIDE; GRAÇA, 2006; SELVA *et al.*, 2015; NELBOLD *et al.*, 2015).

Com uma essência interdisciplinar, a Geografia é capaz de deslocar-se com facilidade no complexo arcabouço que define a relação do homem com estas que ainda são as principais estruturas utilizadas para se movimentar: as estradas, os trilhos e as rodovias (IBGE, 2014; CNT, 2018). A visão geográfica está presente nos impactos espaciais, ambientais, sociais,

econômicos, políticos e territoriais da construção e durante a operação de qualquer trecho rodoviário ou ferroviário (COFFIN, 2007). Os impactos desses empreendimentos, ainda em contínua expansão, são objetos do estudo geográfico em suas diversas ramificações e sob várias perspectivas - sejam estas em diferentes escalas espaciais ou temporais.

Porém, ainda que a visão geográfica tenha muito a contribuir com a Ecologia de Estradas, não está clara a sua atuação científica em estudos que abordam os impactos das rodovias no Brasil. Desta forma, o presente estudo visa dimensionar a atuação da Geografia em estudos que avaliam os impactos ambientais negativos das rodovias no país.

### **1.3. Objetivos específicos**

- Elaborar e aplicar um protocolo de revisão sistemática sobre a produção científica atual brasileira, que visa compreender os efeitos negativos da operação ou da instalação de empreendimentos rodoviários no Brasil.
- Identificar disciplinas com maior e menor produção científica na área;
- Indicar lacunas que representam os segmentos com maior potencial inovador, evidenciando as oportunidades a serem exploradas pela Geografia em Ecologia de Estradas.

### **1.4. Métodos de Pesquisa**

A elaboração do protocolo de revisão sistemática utilizado no presente estudo segue a metodologia proposta por Xiao e Watson (2019). A tipologia da revisão foi definida pelos autores como um Meta Sumário, em que temas pré-definidos são extraídos da produção científica vigente, visando analisar a frequência com que estes são abordados e avaliar o grau de representatividade. Trata-se de uma análise descritiva aplicável a todos os tipos de pesquisa e que pode identificar saturações ou lacunas nos temas pesquisados.

#### **1.4.1. Busca e Parâmetros de Seleção dos Estudos**

Inicialmente, as buscas na literatura foram conduzidas por duas pesquisas na base de dados principal da *Web of Science* (Clarivate). A primeira, se deu pela inserção de uma fórmula básica de palavras-chave: (ALL = “Road Ecology” AND CU = Brazil). A partir das

buscas iniciais, foram selecionados os termos mais comuns ou relevantes em ecologia de estradas e, então, redefinidos como as chaves de busca em uma nova pesquisa, visando a inclusão de estudos que exploram temas concernentes à ecologia de estradas, mas que não fazem referência ao termo em seus resumos: (AB = (road\* OR highway\* OR traffic OR motorway OR freeway) AND AB = (effect\* OR impact\* OR affect\*) AND AB = (environment\* OR barrier\* OR roadkill\* OR road-kill\* OR wildlife vehicle collision OR WVC OR wildlife OR biodiversity OR fragmentation OR road effect zone OR mitigation) AND CU = (BRAZIL\*)).

Entre os anos de 2007 e 2010, o governo brasileiro fez investimentos direcionados às obras de infraestruturas do transporte (BOTTASSO et al., 2021). Os efeitos ambientais da operação e construção dos novos empreendimentos rodoviários vêm sendo estudados na última década. Portanto, em ambas as pesquisas, apenas as publicações dos últimos dez anos (entre 01/01/2012 e 31/12/2022) foram verificadas. Somente artigos provenientes de estudos realizados no Brasil e publicados em periódicos científicos foram considerados.

Após a averiguação, foram avaliados os resumos dos artigos, selecionados os objetivos e perguntas de pesquisa que correspondem ao objeto do presente estudo: os impactos ambientais das rodovias no Brasil. Artigos que apenas citavam ou abordavam o tema de forma superficial foram excluídos da base de dados, assim como artigos com enfoque em temas ou modais de transporte diversos, duplicados ou cujas versões completas não foram encontradas.

Os resumos dos artigos remanescentes ao refino das buscas foram lidos integralmente por todos os autores.

Em matéria multidisciplinar, a identificação e a mensuração de áreas específicas do conhecimento mostram-se tarefas desafiadoras. É comum a associação de cientistas e profissionais especializados em diversas áreas do conhecimento para a elaboração de estudos interdisciplinares. Dessa forma, a análise baseou-se na categorização das áreas de pesquisa gerada pela *Web of Science*. A base define a categoria de acordo com escopo do periódico em que cada artigo foi publicado.

### **1.4.2. Organização e Elaboração da Base de dados**

Para mensurar as contribuições da Geografia em Ecologia de Estradas, antes, é necessária a obtenção de um panorama geral da produção científica brasileira sobre os impactos das rodovias no meio ambiente. Para tanto, os temas gerais foram definidos de acordo com os objetivos e a questão de pesquisa de cada artigo, para evidenciar a composição estrutural dos trabalhos científicos em Ecologia de Estradas produzidos no Brasil e a forma com que estes temas vêm se expandindo na produção científica brasileira ao longo dos anos.

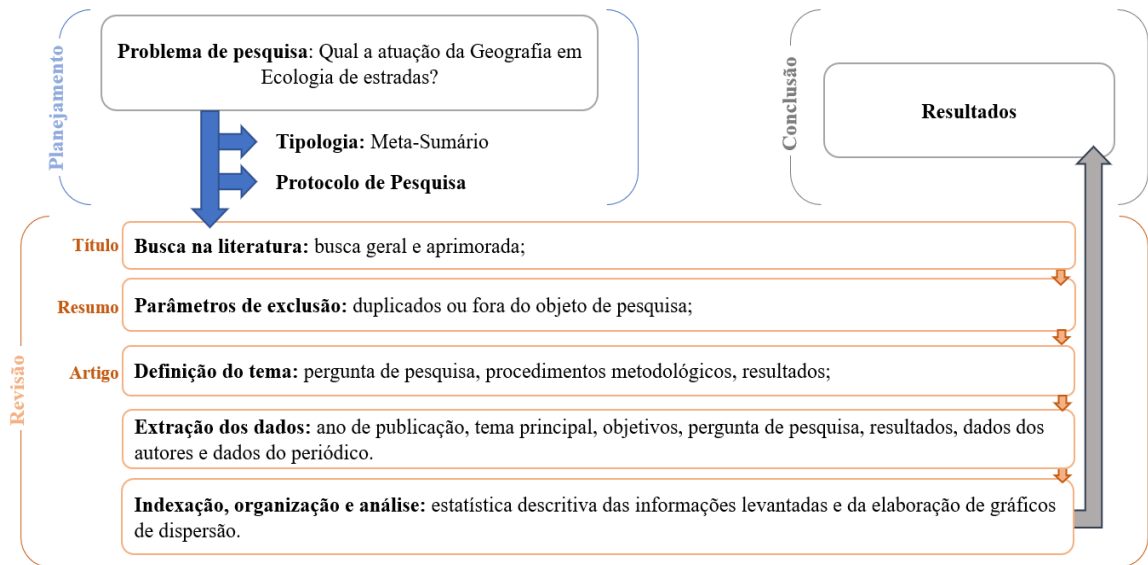
Os problemas de pesquisa, as metodologias e os resultados obtidos foram avaliados e ajudaram a definir o tema principal de cada publicação. Os tópicos em Ecologia de estradas foram examinados com relação à frequência com que vêm sendo empregados ou abordados na produção revisada.

Os artigos foram organizados por tipo de estudo: revisão ou pesquisa empírica. As publicações definidas como pesquisa foram organizadas por impacto das rodovias: direto ou indireto. O tipo de análise foi definido como: de impacto ou de medida mitigadora. Em seguida, os temas principais foram separados de acordo com os sete efeitos gerais das rodovias ao meio ambiente, propostos por Trombulak e Frissell (2000): (1) intensificação da mortalidade da biota durante a construção; (2) intensificação da mortalidade de animais por colisão com veículos; (3) mudanças no comportamento das espécies afetadas; (4) alteração do ambiente físico; (5) alteração do ambiente químico; (6) criação de vias de dispersão de espécies exóticas; e, (7) intensificação do uso de habitats e o do ambientes alterados por seres humanos.

### **1.4.3. Análise**

A indexação e a análise exploratória dos dados para a obtenção da estatística descritiva das informações levantadas, da elaboração de gráficos de dispersão e da construção de mapas nos foram desenvolvidas nos *softwares* R studio (v. 2021.09.0), Office Microsoft Excel (2013) e Arcgis (v. 10.8).

## 1.5. Fluxograma dos procedimentos metodológicos



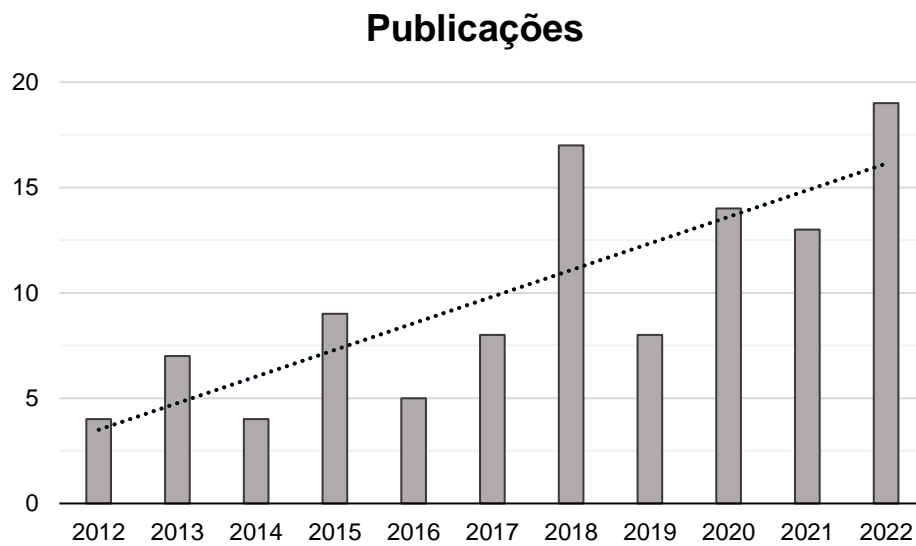
## 1.6. Resultados e Discussão

### 1.6.1. Histórico e composição das publicações

Ambas as pesquisas na literatura retornaram o total de 315 resultados, dos quais, 21 foram removidos por abordar os impactos ambientais de rodovias de forma superficial; 15, por estudarem modais de transporte diversos (ferroviário ou aquaviário); oito, por incluírem áreas de estudo fora do Brasil; 131, por não apresentarem relação com o objeto de estudo; 32 por se tratarem de duplicações; e, um, por falta de acesso ao material.

Na Figura 1a, está representada a relação temporal dos 108 artigos remanescentes ao refino.





**Figura 1a:** Artigos sobre Ecologia de Estradas publicados entre 2012 e 2022 no Brasil.

No conjunto avaliado, verificou-se o crescimento médio de 1,5 publicações ao ano, sendo que a metade dos trabalhos foi publicada nos últimos quatro anos ( $n = 54$ ). Tais dados evidenciam uma tendência positiva na publicação de pesquisas sobre a ecologia de estradas no Brasil ( $R^2 = 0,651$ ; figura 1a). Ao longo da última década, ao menos quatro artigos foram publicados por ano, sendo 2012 e 2014 os de menor produção científica sobre o tema.

A concentração do transporte no modal rodoviário observada no Brasil gera uma constante demanda de investimentos na construção de novas infraestruturas de transporte. Desde 2011, a extensão total de rodovias no país cresceu em média 142 quilômetros ao ano (CNT, 2023). As mudanças estruturais decorrentes dessa constante expansão podem, por si só, ser relacionadas à intensificação dos impactos ambientais associados e, por consequência, ao crescimento dos estudos que exploram o tema. Porém, a abordagem dos efeitos ecológicos das rodovias já vem se expandindo globalmente em pesquisas científicas desde meados do século XXI e os objetos de pesquisa sobre o assunto tornaram-se mais complexos e mais amplos à medida que os estudos se aproximaram das fronteiras do conhecimento (VAN DER REE et al., 2011; VAN DER REE et al., 2015).

Na literatura, infere-se que a Ecologia de Estradas é um campo ainda emergente no Brasil (BAGER et al., 2015). Os dados apresentados estão de acordo com a referida informação. Porém, o crescimento no número de publicações precisa ser avaliado com relação às temáticas abordadas para verificar a existência de padrões e tendências nas pesquisas realizadas no país.

### 1.6.2. Tópicos em Ecologia de Estradas

Até 2015, o Brasil foi o país sul-americano com o maior número de publicações em Ecologia de Estradas e essa produção sofreu uma rápida expansão a partir de 2004 (BAGER et al., 2015). Porém, a maior parte dos tópicos concernentes a essa área do conhecimento concentravam-se na avaliação dos impactos das colisões entre animais e veículos (BAGER et al., 2015).

Os dados apresentados indicam que a tendência de crescimento se manteve ao menos até o final de 2022. Na tabela 1a, estão relacionadas a diversidade e a frequência de temas concernentes à Ecologia de Estradas nos objetos de pesquisa examinados.

**Tabela 1a:** Relação de tópicos relativos à Ecologia de Estradas abordados nas publicações apreciadas. Os temas estão organizados de acordo com os sete impactos gerais das rodovias ao meio ambiente (TROMBULACK; FRISSELL, 2000).

| Tópicos em Ecologia de Estradas                | Publicações |            |
|------------------------------------------------|-------------|------------|
|                                                | N           | %          |
| Mortandade da biota (construção)               | 3           | 2,8        |
| Morte por colisão com veículos                 | 56          | 51,9       |
| Mudanças no comportamento das espécies         | 15          | 13,9       |
| Alteração do ambiente físico                   | 13          | 12,0       |
| Alteração do ambiente químico                  | 9           | 8,3        |
| Dispersão de espécies exóticas                 | 1           | 0,9        |
| Intensificação de alterações por seres humanos | 11          | 10,2       |
| <b>Total</b>                                   | <b>108</b>  | <b>100</b> |

Dos 108 artigos analisados, 73 exploram os impactos diretos das rodovias (78,8 %). Destaca-se que, desta parcela, a porção mais representativa permanece sendo de pesquisas em atropelamentos de fauna (51,9 % ou 56). Trata-se de um impacto contínuo que pode ser influenciado pelas características da paisagem lindeira; pela composição da biota que faz o uso das margens ou a travessia do ambiente rodoviário; ou mesmo, pelas características da rodovia – como o número de faixas, tipo de pavimento ou fluxo de tráfego (VAN DER REE et al., 2015).

Na tabela 2a está apresentada a diversidade de abordagens sobre a ocorrência de colisões entre animais e veículos na literatura explorada.

**Tabela 2a:** Diferentes abordagens em publicações sobre atropelamentos de fauna no país.

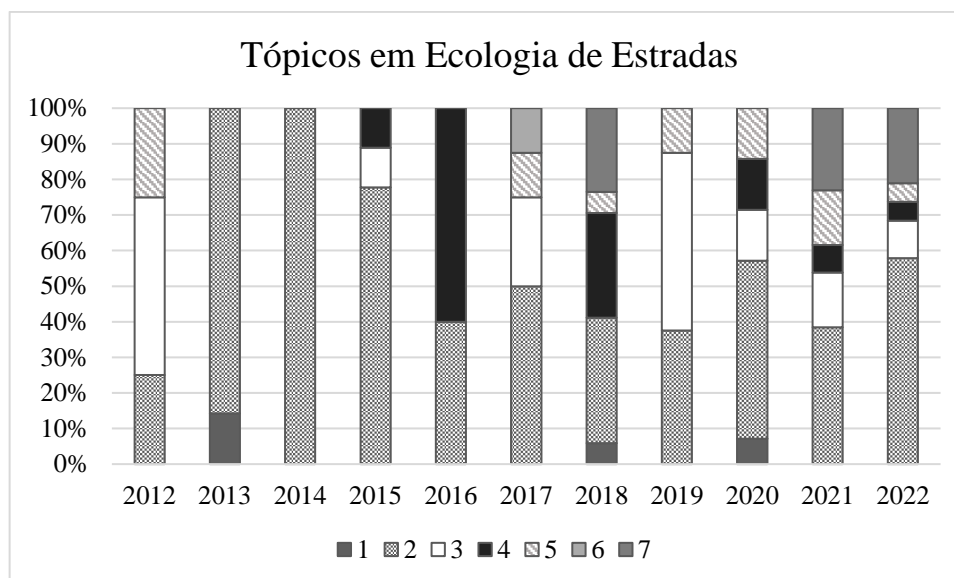
| Abordagens em atropelamentos de fauna                      | Publicações |              |
|------------------------------------------------------------|-------------|--------------|
|                                                            | N           | %            |
| Composição da fauna atropelada                             | 16          | 28,6         |
| Distribuição espaço-temporal de eventos                    | 14          | 25,0         |
| Proposição de novos Métodos (coleta/identificação/análise) | 6           | 10,7         |
| Avaliação das medidas de mitigação                         | 7           | 12,5         |
| Correlação entre atropelamentos e atributos da paisagem    | 13          | 23,2         |
| <b>Total</b>                                               | <b>56</b>   | <b>100,0</b> |

Observa-se que a análise espaço-temporal da distribuição de eventos e da relação dos incidentes aos diferentes atributos da paisagem correspondem a mais da metade das abordagens de pesquisa em atropelamentos de fauna no material averiguado (51,8%), e que cerca de 30% desses estudos visa verificar a composição da fauna atropelada em trechos rodoviários específicos (n = 16).

Este tipo de monitoramento é destacado na literatura como uma necessidade constante, já que a base de dados proveniente dos registros pode e vem sendo utilizada para estimar a riqueza e a distribuição das espécies no Brasil (SCHWARTZ et al., 2020). Destaca-se, porém, que os estudos de análise ou de registros de atropelamentos sobrepõem-se à avaliação de medidas mitigadoras dos danos associados. Esse dado indica que as propostas para a diminuição dos danos nesse tema ainda são subexploradas na literatura (TEIXEIRA et al., 2020),

Ainda que o cenário atual fundamente a relevância da compreensão do impacto da mortalidade por atropelamentos de fauna no Brasil; e que um mesmo objeto de estudo abarque diferentes perspectivas, o destaque neste tópico se contrapõe à baixa representação de outros efeitos diretos igualmente relevantes - como a intensificação da mortandade de animais e plantas silvestres causada pela construção de novos empreendimentos rodoviários (2,8%) ou as alterações no ambiente químico decorrentes da operação viária (8,3%).

Na figura 2a, é possível observar a diversidade de tópicos em ecologia de estradas em estudos publicados nos últimos 10 anos.



**Figura 2a:** Contribuições dos tópicos abordados por pesquisas brasileiras em Ecologia de Estradas. Os temas estão enumerados de acordo com os sete impactos gerais das rodovias ao meio ambiente: (1) mortandade da biota durante a construção; (2) mortandade de animais atropelados; (3) mudanças no comportamento das espécies; (4) alteração do ambiente físico; (5) alteração do ambiente químico; (6) criação de vias de dispersão de espécies exóticas; e, (7) uso de habitat e ampliação de ambientes alterados por seres humanos. (TROMBULACK; FRISSELL, 2000):

Os artigos sobre atropelamentos de fauna representaram a maioria das publicações em oito dos dez anos avaliados (figura 2a). Apenas em 2012 e 2016, anos de baixa produção, pesquisas sobre as mudanças no comportamento da fauna em ambientes rodoviários e sobre os efeitos adversos das rodovias no ambiente físico representaram a maior parcela dos estudos na área.

Mesmo com temas menos comuns, destaca-se que todos os efeitos gerais das rodovias, propostos por Trobulak e Frissel (2000) foram identificados nos objetos das pesquisas averiguadas e que a análise dos demais efeitos tornou-se mais frequente a partir do ano de 2017 (figura 2a).

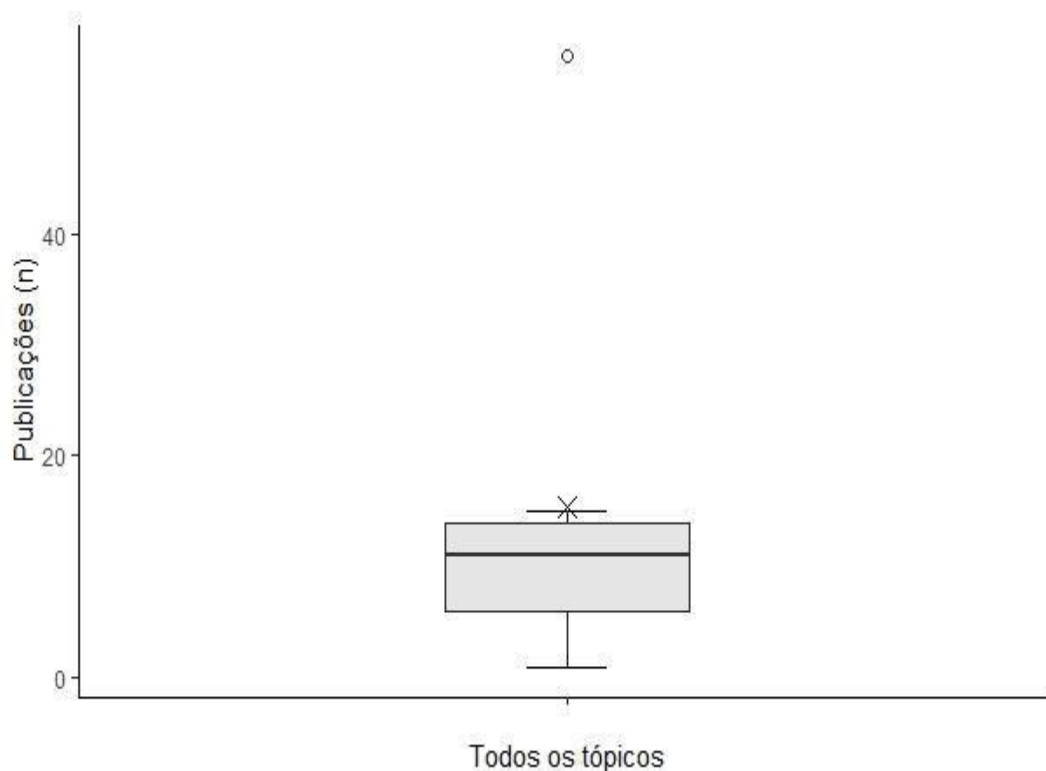
De todos os tópicos avaliados, a dispersão de espécies exóticas invasoras foi o menos abordado ( $n = 1$ ; 0,9%; figura 2). Trata-se de um impacto indireto da operação do sistema viário fortemente relacionado à perda da biodiversidade - já que os indivíduos deste grupo se adaptam e se dispersam com facilidade, ocupando nichos antes pertencentes às espécies nativas. As mudanças na composição da biota decorrentes deste impacto promovem ainda o efeito de borda nas margens das rodovias (PRIMACK; RODRIGUES, 2006).

A expansão dos ambientes alterados por seres humanos é outro impacto indireto ainda pouco explorado na literatura avaliada (10,2%). O tema envolve vertentes variadas como as mudanças na composição da paisagem; a dimensão social dos efeitos rodoviários ou a

modelagem espacial da degradação ambiental associada. Aqui, os estudos costumam destacar a relação da construção de novas rodovias com o desmatamento ilegal; a intensificação de conflitos de terra e a relação da proximidade das estradas com dados de incidência de fogo.

Ainda que de elevada importância, a preferência por uma temática específica promove a inequidade do conhecimento e limita a compreensão de sinergismos relevantes para a real mitigação dos impactos das rodovias.

Ao averiguar a distribuição das publicações em diagramas de caixas, nota-se a discrepância no número de pesquisas que abordam atropelamentos de animais em relação aos demais tópicos.



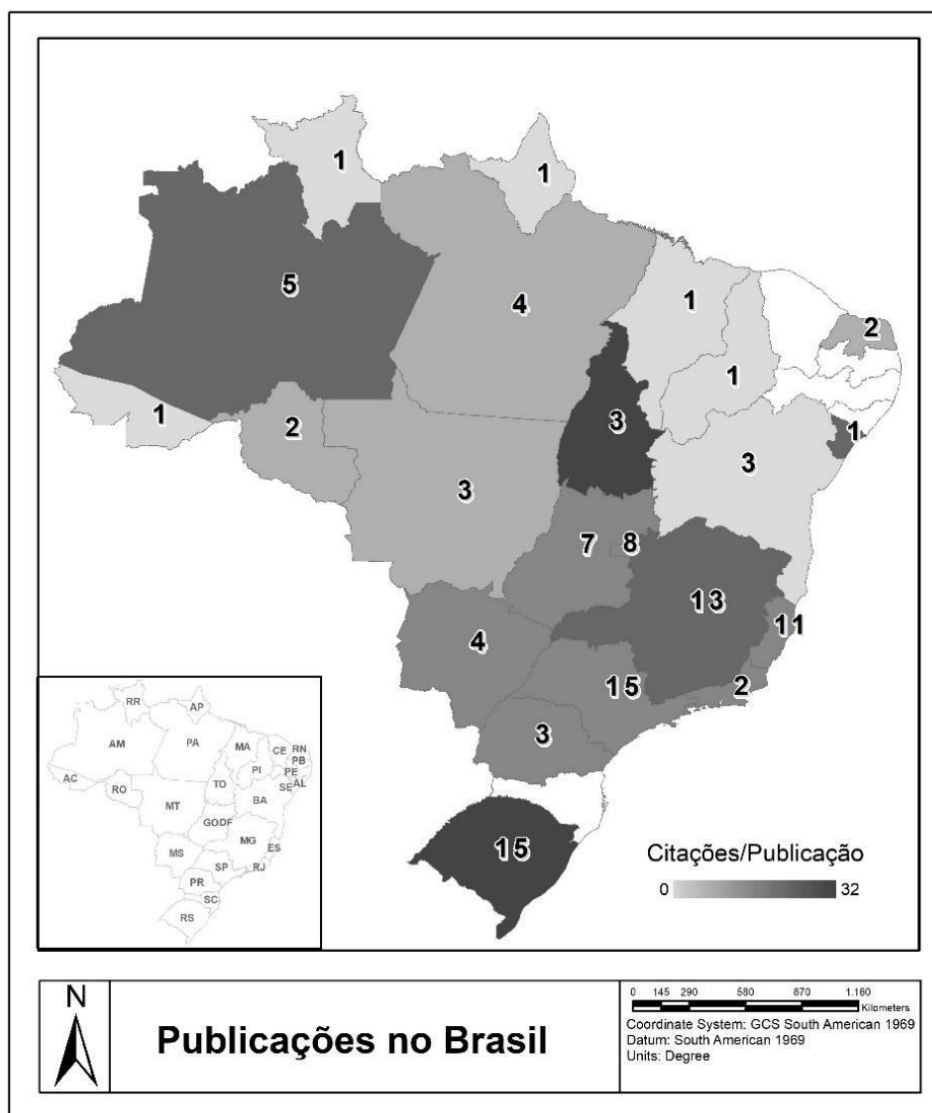
**Figura 3a:** Diagramas de caixas sobre a distribuição de tópicos abordados nas 108 publicações apreciadas entre 2012 e 2022.

As informações presentes na figura 3a evidenciam que o montante de estudos que apreciam e analisam os atropelamentos de fauna ( $n = 56$ ) é discrepante e muito superior à média (15,4) e à mediana (11) do número de publicações por tópico avaliado.

Os dados apresentados nas figuras 2a e 3a evidenciam, portanto, uma possível lacuna no estado do conhecimento dos tópicos menos abordados no campo da Ecologia de Estradas, em decorrência da elevada concentração de publicações em atropelamentos de fauna e de uma provável falta de informações a respeito dos demais impactos das rodovias nos ambientes naturais do Brasil, principalmente, em temas relacionados à dispersão de espécies exóticas facilitada por rodovias ou mesmo a mortalidade da biota em decorrência da construção de novos empreendimentos rodoviários.

### **1.6.3. Distribuição de publicações em Ecologia de Estradas**

Parte significativa da literatura avaliada advém da coleta e análise de dados empíricos realizada em diversos estados do território nacional (89,8%). Do total, seis publicações foram provenientes de pesquisas ocorridas em mais de um estado; três, cobriram todo o território nacional; dois, referiram-se apenas à mata atlântica como área de pesquisa; um, ao Cerrado; e, oito não fizeram delimitação espacial. A distribuição geográfica dos 91 trabalhos que especificaram as áreas de estudo em estados brasileiros e o número médio de citações por publicação podem ser observados na Figura 4a.



**Figura 4a:** Distribuição geográficas das publicações em Ecologias de Estradas no Brasil e a relação de citações por artigo – cores mais escuras indicam o maior número de citações por artigo. Dados incluem estudos realizados em mais de um estado, portanto, a soma dos valores é superior ao número total de artigos.

Na última década, a maior parte das pesquisas centrou-se nas regiões sudeste (35,2%), centro-oeste (17,6%) e sul (16,7%) do Brasil.

Segundo os dados do CNT (2023), a malha rodoviária brasileira está concentrada no Sudeste e no Nordeste do país, regiões que juntas também fazem parte da área de extensão de biomas cuja relevância para a conservação já fora discutida: a Mata atlântica e o Cerrado (MYERS et al., 2000). O cenário atual fundamenta, portanto, a importância desses estudos em áreas pressionadas pelo adensamento rodoviário, já que os efeitos econômicos, sociais e ambientais das rodovias precisam ser bem compreendidos para que sejam definidas medidas eficazes para a mitigação dos danos.

Segundo os resultados da pesquisa na literatura, do total das publicações avaliadas, 45 (41,6%) foram conduzidas nestas regiões. Ainda assim, entre os anos de 2012 e 2017 – período em que os dados da extensão rodoviária brasileira foram disponibilizados pela CNT, não foram encontradas evidências estatísticas significativas de uma correlação entre o número de artigos e a densidade da malha viária nas regiões do Brasil ( $\tau = 0,4$ ;  $p\text{-valor} > 0,05$ ).

De outra forma, a relevância ambiental brasileira estende-se por todo o território nacional (PRIMACK; RODRIGUES, 2006). No material avaliado, o Nordeste foi a região do país que publicou o menor número de artigos sobre os efeitos das rodovias no meio ambiente, com oito publicações distribuídas em cinco dos seus nove estados (7,5%). Trata-se da área com a segunda maior malha rodoviária do país: cerca de 445 quilômetros (CNT, 2023). Em contrapartida, no Nordeste, estendem-se a Caatinga - o único bioma exclusivamente brasileiro, o agreste e a Mata Atlântica (IBGE, 2023). A existência de ecossistemas singulares expostos aos efeitos da concentração de trechos rodoviários justifica, portanto, a necessidade de estudos em Ecologia de Estradas nesta região.

Já os estudos conduzidos em Tocantins ( $n = 32,3$ ), Rio Grande do Sul ( $n = 27,7$ ), Amazonas ( $n = 16,4$ ), Sergipe ( $n = 16$ ) e São Paulo ( $n = 7,75$ ) foram os que receberam o maior número de citações por publicação. Em relação à relevância dos estudos, reitera-se que o Brasil conquistou posição de destaque em matéria ambiental, devido à riqueza da sua biodiversidade e à sua ampla extensão territorial. Neste contexto, os estudos realizados em estados pertencentes ao bioma Amazônia recebem alta visibilidade mundial em temas relacionados ao desmatamento e às mudanças no uso do solo em decorrência da expansão das rodovias. Esses foram os tópicos abordados nos dois artigos com o maior número de citações realizados nos estados do Tocantins ( $n = 86$ ) e do Amazonas ( $n = 37$ ; MARRIS, 2005; OVERBECK et al., 2022).

Já pesquisas realizadas nos estados do sul e sudeste do país têm ganhado relevância em estudos sobre atropelamentos de fauna (BAGER et al., 2015). Dos 56 artigos publicados nessas regiões, 31 abordaram o tema e receberam a maior parcela das citações em todo o material avaliado (60,7%).



#### 1.6.4. Áreas de pesquisa mais atuantes em Ecologia de Estradas e oportunidades para a Geografia

A Ecologia de Estradas tem essência multidisciplinar e os estudos que avaliam a interação dos seres vivos com as rodovias e demandam o envolvimento de diversas áreas do conhecimento. A tabela 3a relaciona as áreas de pesquisa do *Web of Science* aos principais efeitos rodoviários abordados em cada publicação. Os dados estão organizados de acordo com a base de dados do Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq (2023).

**Tabela 3a:** Categorias das áreas de pesquisa segundo *WoS* conforme os efeitos das rodovias explorados em cada publicação (TROMBULACK;FRISSELL, 2000). Organizadas em acordo com as grandes áreas da Ciência: (1) Ciências Exatas e da Terra; (2) Ciências Biológicas; (3) Engenharias; (4) Ciências da Saúde; (5) Ciências Agrárias; e, (7) Ciências Humanas (CNPq, 2023).

| Categorias do <i>Web of Science</i>                                                     | Efeitos das Rodovias |    |   |   |   |   |   | Total |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----|---|---|---|---|---|-------|
|                                                                                         | 1                    | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |       |
| <b>Estudos do Desenvolvimento; Ciências e</b>                                           |                      |    |   |   |   |   |   |       |
| 1 <b>Tecnologias - Outros tópicos; Administração Pública</b>                            |                      |    |   |   |   |   | 1 | 1     |
| 1 <b>Geografia Física</b>                                                               |                      |    |   | 1 |   |   |   | 1     |
| 1 <b>Ciências Ambientais e Ecologia</b>                                                 |                      | 9  | 2 | 5 | 4 |   | 6 | 26    |
| Engenharias                                                                             |                      | 1  |   |   |   |   |   | 1     |
| Biologia Evolutiva                                                                      |                      |    |   | 1 |   |   |   | 1     |
| Estudos Ambientais; Geografia; Geografia Física; Administração Pública; Estudos Urbanos |                      | 1  |   |   |   |   |   | 1     |
| Meteorologia e Ciências Atmosféricas                                                    |                      |    |   |   | 1 |   |   | 1     |
| Saúde pública, ambiental e ocupacional                                                  |                      |    |   |   | 2 |   |   | 2     |
| Transporte                                                                              |                      | 1  |   |   |   |   |   | 1     |
| Zoologia                                                                                |                      | 5  |   |   |   |   |   | 5     |
| 1 <b>Ciências e Tecnologia - Outros Tópicos</b>                                         |                      | 3  | 1 | 1 |   |   |   | 5     |
| Ciências Ambientais e Ecologia                                                          |                      |    |   |   |   |   | 1 | 1     |
| 2 <b>Biologia da Conservação</b>                                                        | 1                    | 8  |   | 1 | 1 | 1 |   | 12    |
| Ecologia; Ciências Ambientais                                                           | 1                    | 10 | 1 |   |   |   |   | 12    |
| Genética e Hereditariedade                                                              |                      |    | 1 |   |   |   |   | 1     |
| Zoologia                                                                                |                      | 1  |   |   |   |   |   | 1     |
| 2 <b>Biologia Marinha e Aquática</b>                                                    |                      |    |   | 1 |   |   |   | 1     |

|                    |                                                         |          |           |           |           |          |          |           |            |
|--------------------|---------------------------------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|------------|
| 2                  | <b>Ciências Florestais</b>                              |          |           |           |           | 2        |          |           | 2          |
|                    | Manejo Florestal                                        |          |           |           |           |          |          | 1         | 1          |
| 2                  | <b>Zoologia</b>                                         | 9        | 8         |           |           |          |          | 1         | 18         |
|                    | <b>Engenharias; Ciências Ambientais e Ecologia;</b>     |          |           |           |           |          |          |           |            |
| 3                  | <b>Saúde pública, ambiental e ocupacional;</b>          |          |           |           |           |          |          | 1         | 1          |
|                    | <b>Recursos Hídricos</b>                                |          |           |           |           |          |          |           |            |
| 4                  | <b>Ciências da Saúde e Biomedicina - Outros tópicos</b> |          |           |           |           |          |          |           | 4          |
|                    | Ciências Ambientais e Ecologia; Biologia Evolutiva      | 1        |           |           |           |          |          |           | 1          |
| 5                  | <b>Ciências agrárias</b>                                |          |           |           |           | 1        |          |           | 1          |
|                    | Ciências da Saúde e Biomedicina                         |          |           |           |           | 2        |          |           | 2          |
| 5                  | <b>Ciências Veterinárias</b>                            | 1        | 1         |           |           |          |          |           | 2          |
| 5                  | <b>Manejo Florestal</b>                                 |          |           |           |           |          | 2        |           | 2          |
| 7                  | <b>Educação e Pesquisa na Educação</b>                  |          |           |           |           |          |          | 1         | 1          |
| <b>Total Geral</b> |                                                         | <b>3</b> | <b>56</b> | <b>15</b> | <b>13</b> | <b>9</b> | <b>1</b> | <b>11</b> | <b>108</b> |

A maior parcela dos 108 estudos avaliados ( $n = 48$ ), está dentro do ramo das Ciências Biológicas. Mas, as vertentes relacionadas a essa área do conhecimento estão distribuídas em 14 das 28 categorias de áreas de pesquisa. Além disso, ainda que os estudos estejam em sua maioria voltados à análise dos impactos dos atropelamentos de animais, todos os tópicos em Ecologia de Estradas foram explorados em artigos publicados nos ramos desta ciência. Tal dado evidencia a multidisciplinariedade da Ecologia de Estradas e a ampla atuação das Ciências Biológicas em diversas áreas do conhecimento na produção científica brasileira sobre as influências do sistema rodoviário no meio ambiente.

A Geografia concede também uma visão ampla, espacial e sistêmica que inclui a vertente humana e que pode, assim, contribuir com a busca pela compreensão dos mecanismos geradores dos danos associados às infraestruturas do transporte rodoviário e com a elaboração de medidas que diminuam ou cessem de forma efetiva os impactos da contínua expansão dos trechos rodoviários pela paisagem. Porém, no recorte da literatura explorado, observa-se que ainda é tímida a atuação da geografia em pesquisas na Ecologia de Estradas (tabela 3a). Quando avaliadas as vertentes mais amplas do conhecimento geográfico – dentro das Ciências Exatas e da Terra – observa-se a representação relevante de estudos sobre o tema ( $n = 46$ ). Porém, desse conjunto, apenas em três publicações é possível verificar a referência direta aos ramos da

Geografia (Geografia física; Estudos urbanos; e, Meteorologia), com atuação nos tópicos 4, 2 e 5 (tabela 3a).

No conjunto de informações aferidas, as variações espacial e sazonal tiveram grande destaque no tema mais abordado: atropelamentos de fauna (tabelas 2a e 3a). Estudos na geografia podem contribuir com o levantamento, a análise e o geoprocessamento tanto de informações amplamente disponíveis, mas que exigem o monitoramento contínuo, quanto com o levantamento de dados ainda pouco explorados na literatura - como os efeitos das rodovias na dispersão de espécies exóticas. A análise espacial da distribuição de indivíduos em áreas próximas ao ambiente rodoviário; a delimitação de áreas de risco e a projeção de linhas de dispersão em séries temporais são exemplos de contribuições da biogeografia nesta temática.

Em relação aos efeitos na composição física ou química dos ambientes influenciados por rodovias, nota-se uma janela de oportunidade para atuação dos ramos da Geografia física, como a Geomorfologia; a Climatologia Geográfica; a Pedologia; a Hidrogeografia; a Geoecologia; a Biogeografia; a Fotogeografia (Físico-Ecológica); a Geocartografia, a Meteorologia, entre outros.

O panorama de produção apresentado indica, ainda, a necessidade da atuação Geografia Humana em colaboração com as discussões em todas as temáticas que envolvem a Ecologia de Estradas no Brasil, com destaque à intensificação do uso de habitat e dos ambientes alterados por seres humanos.

A delimitação das áreas de pesquisa atuantes em Ecologia de Estradas tem como premissa a identificação de lacunas e oportunidades de pesquisas nesse ramo do conhecimento no Brasil. Destaca-se, porém, que apesar de ser aqui apresentada de forma segmentada, a Geografia não pode ser totalmente compreendida sob a sua clássica divisão: em física ou humana. Apesar de amparada pelos diversos modos como é vista a relação do homem com a natureza, a seção do pensamento geográfico impõe limitações à pesquisa sobre a produção científica em estudos que abordam os impactos das rodovias no Brasil, já que esta área do conhecimento não se limita aos impactos sociais, econômicos, políticos e históricos das infraestruturas do transporte; tão pouco ao estruturalismo e à análise integrada do meio físico modificado pela implantação de traçados na paisagem, em que os processos sociais são reduzidos à ação antrópica (CARLOS, 2002; BARUA, 2018).

As informações apresentadas indicam, portanto, que a geografia tem ainda baixa atuação em Ecologia de Estradas, apesar de possuir elevado potencial na colaboração com novas perspectivas em discussões, técnicas e análises a partir de seus diversos ramos do conhecimento. Destaca-se que aqui não foram apresentadas todas as possibilidades de ação da Geografia, já que são diversas e comunicam-se com as mais variadas áreas de pesquisa. É necessário, porém, botar em evidência o leque de oportunidades para a execução de estudos sob o olhar geográfico em Ecologia de Estradas no Brasil.

### **1.7. Considerações Finais**

Em acordo com o recorte na literatura científica avaliada, é possível constatar que, nos últimos dez anos, as publicações de artigos em Ecologia de Estradas seguem uma tendência de crescimento. Porém, os estudos brasileiros no tema concentram-se na coleta de dados empíricos para a avaliação ou a mitigação de impactos dos atropelamentos da fauna. Mesmo sob diversas perspectivas, as pesquisas nesse tópico costumam explorar a análise espaço-temporal da distribuição de eventos ou a relação dos incidentes com os diferentes atributos da paisagem.

Ainda assim, nos últimos seis anos, foi possível observar a diversificação dos objetos de pesquisa sobre os demais temas concernentes aos estudos das influências de rodovias no meio ambiente, mas publicações relacionadas à mortandade da biota na construção ou à intensificação da dispersão de espécies exóticas na operação das autoestradas ainda são incipientes no país e a baixa disponibilidade de dados sobre esses tópicos indicam lacunas do conhecimento que ainda devem ser exploradas.

Em relação à distribuição geográfica das publicações apreciadas, a maior parte das pesquisas produzidas está nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Mas as produções consideradas de relevância científica foram realizadas nas regiões Norte e Sul do país. Destaca-se a oportunidade para a realização de estudos no Nordeste, em todos os tópicos concernentes à Ecologia de Estradas.

Ademais, o panorama de produção científica indica que o conjunto documental apreciado possui ampla representação de ramos da pesquisa pertencentes às Ciências Biológicas, mas que a atuação da Geografia ainda é tímida e pode aprimorar diversos estudos em Ecologia de Estradas, já que é uma área capaz de se deslocar com facilidade no complexo arcabouço que define a relação do homem com estas que ainda são as principais estruturas utilizadas para se

movimentar: as estradas e as rodovias (DE CAMARGO, 2005). A prática de análises espaciais em estudos de atropelamentos de fauna, por exemplo, pode ser enriquecida em suas análises e discussões ao receberem as contribuições do conhecimento geográfico sobre as dinâmicas dos atributos físicos da paisagem modificada pelo sistema de transporte rodoviário ou mesmo em técnicas de geoprocessamento.

Reitera-se, portanto, a importância da contribuição da Geografia em todos os tópicos relativos à Ecologia de Estradas, com ênfase na quantificação, análise e discussão da mortalidade e da mudança na composição da biota em decorrência da construção de novas rodovias, além da dispersão de espécies exóticas facilitada pela operação do sistema rodoviário, principalmente nos ecossistemas presentes na região Nordeste. Além disso, indica-se o enriquecimento de discussões acerca da intensificação no uso dos habitats e da ampliação dos ambientes alterados por seres humanos graças à expansão dos ambientes rodoviários no Brasil.

## 1.8. Bibliografia

- BAGER, A.; PIEDRAS, S. R. N.; MARTIN, T. S.; HÓBUS, K. Fauna Selvagem e Atropelamento - Diagnóstico do Conhecimento Brasileiro. **In:** Bager, A. Áreas Protegidas: Repensando a Escala de Atuação. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2007, p. 1-14.
- BARBER, C. P.; COCHRANE, N. A.; SOUZA JR., C. M.; LAURANCE, W. F. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. **Biological conservation**. [s.l.]: Elsevier. v. 177, 2014, p. 203-209.
- BARUA, M. Ratzel's biogeography: a more-than-human encounter. **Journal of Historical Biogeography**. [s.l.]: Elsevier. 2018, p. 1-7.
- BROWN, J. H.; LIMOLINO, M.V. **Biogeography**. 1998 Sunderland, Massachusetts : Sinauer Associates, Inc. Publishers. p.158.
- BOTELHO, R. D.; CÂMARA, J. J. D.; COSTA, I. C. S.; TRITINELLA, B. S. The Trucks as the Main Tool in the Cargo Transport in Brazil: The Driver's Health Impacts and the Sustainable Developments. **In:** BAGNARA, S.; TARTAGLIA, R.; ALBOLINO, S.; ALEXANDER, T.; FUJITA, Y. Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018). Volume VIII: Ergonomics and Human Factors in Manufacturing, Agriculture, Building and Construction, Sustainable Development and Mining. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer. Volume 825. 1056 p.
- CÁCERES, N. C.; HNNIBAL, W.; FREITAS, D. R.; SILVA, E. L.; ROMAN, C.; CASELLA, J. Mammal occurrence and roadkill in two adjacent ecoregions (Atlantic Forrest and Cerrado) in south-western Brazil. **ZOOLOGIA**. [s. l.]: Sociedade Brasileira de Zoologia, v. 27, n. 5, October, 2010, p.709-717.
- CAMARGO, J. C. G. Algumas considerações à respeito do estudo da biogeografia. **Sociedade & Natureza**. Uberlândia: UFU, 12 (24), Julho a Dezembro, 2000, p. 33-45.

- CARLOS, A. F. A. A geografia brasileira, hoje: algumas reflexões. Terra Livre. São Paulo: Associação dos Geógrafos Brasileiros (AGB), v. I, n. 18, ano 18. jan.-jun. 2002. p. 161-178.
- CASE, R. M. Interstate highway road killed animals: A data source for biologists. **Wild Life Society Bulletin**. Nebraska: Wiley, v. 6, n. 1, Spring, 1978, pp. 8-13.
- CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY (CIA). **The world factbook**. CIA, 2013, Washington, DC. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/geos/xx.html> Acessado em 23 de maio de 2019.
- COFFIN, A. W. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. **Journal of Transport Geography**. Gainesville: Elsevier, v. 15, 2007, p. 396-406.
- COLTRINARI, L. A geografia física e as mudanças ambientais. **In: Novos Caminhos da geografia**, org. CARLOS, A. F. A., Editora Contexto: São Paulo, 2001, p. 30.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Pesquisa CNT de Rodovias 2018. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/apresentacao> Acessado em 23 de maio de 2019.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Pesquisa CNT de rodovias 2015: Relatório Gerencial. 2015. **CNT: SEST: SENAT**, Brasília, DF, Brasil.
- COX, C. B.; MOORE, P. D. **Biogeography: an ecological and evolutionary approach**. London: Blackwell Publishing. 7th edition. 2005. 435p.
- DA SILVA E. A. M.; NUNES, L. Efeitos socioeconômicos da infra-estrutura de transportes nas localidades turísticas - Pavimentação da estrada GO-239 na vila de São Jorge. **In: Anais do X Jornal de Encontro de Geógrafos da América Latina**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 20 a 26 de março de 2006. p. 17.
- DE CAMARGO, L. H. R. **A ruptura do meio ambiente. Conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência: A geografia da complexidade**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, 240p.
- DICKERSON, L. M. The problem of wildlife destruction by automobile traffic. **The Journal of Wildlife Management**. [s. l.]: Wiley, v. 3 n. 2, Apr. 1939, p. 104-116.
- DIXO, M. *et al.*, Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity among toad. **Biological conservation**. [s.l.]: Elsevier. v. 142, 2009, p. 1560-1569.
- DNER. **Roteiro para Monitoramento de Obras Rodoviárias**. Rio de Janeiro. [s. ed], 1995.
- EGAN, M.; PETTICREW, M.; OGILVIE, D.; HAMILTON, V. New Roads and Human Health: A Systematic Review. **American journal of public health**. [s. l.]: American Public Health Association. v. 93, nº9, September, 2003. p. 1463-1471.
- ERHART, S.; PALMEIRA, E. M. Análise do Setor de Transportes. **Observatório de la Economia Latinoamericana**. Pelotas: Economia do Brasil. n. 71, diciembre, 2006, p. 1-6.
- FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. BR-319: Brazil's Manaus-Porto Velho Highway and the potential impact of linking the Arc of Deforestation to Central Amazonia. **Journal of Environmental Management**. [s.l.]: Elsevier. v. 38. 2006. p. 705-716.
- FORMAN R. T. T. *et al.*, **Road Ecology: Science and solutions**. 2003. Island Press, Washington, D. C., USA.
- FRANÇOZO *et al.* Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado biodiversity hotspot. **Natureza & Conservação**. [s. l.]: Elsevier. In: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001>, 2015.
- GERLAND, P.; RAFTERY, A. E.; SEVICÍKOVÁ, H.; LI, N.; GU, D.; SPOORENBERG, T.; ALKEMA, L.; FOSDICK, B. K.; CHUNN, J.; LALIC, N.; BAY, G.; BUETTNER, T.; HEILIG, G. K.; WILMOTH, J. World population stabilization unlikely this century. **Science**. (346) 6206, 2014, p. 234-237.

- GUNSON, K. E.; MOUNTRAKIS, G.; QUACKENBUSH, L. J. Spatial wildlife-vehicle collision models: A review of current work and its applications to transportation mitigation projects. **Journal of environmental management**. [s. l.]: Elsevier. v. 92, 2011, Pp. 1074-1082.
- HA, H.; SHILLING, F. Modeling potential wildlife-vehicles collisions (WVC) locations using environmental factors and human population density: A case-study from state highways in Central California. **Ecological Informatics**. [s. l.]: Elsevier. v. 43. 2018. p. 2012-2021.
- HOOKE, R. L. On the history of humans as geomorphic agents. **Geology**. [s.l.]: The Geological Society of America. v. 28, nº.9, September, 2000. p. 843-846.
- HOOPER, D. U. *et al.*, A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. **Nature**. [s.l.]: Macmillan. v. 486. June, 2012. p. 105-109.
- IBGE. Banco de Dados de Informações Ambientais. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao>. Acessado em: 23 de maio de 2023.
- JACKSON, S. T.; SAX, D. F. Balancing biodiversity in a changing environment: extinction debt, immigration credit and species turnover. **Trends in Ecology and Evolution**. [s.l.]: Elsevier. v. 25, n. 3, 2009, Pp. 153-160.
- KOCIOLEK, A. V.; CLEVENGER, A. P.; CLAIR, C. C. ST.; PROPE, D. S. Effects of Road Networks on Bird Populations. **Conservation Biology**. [s. l.]: Society for Conservation Biology, v. 25, n. 2. 2011. p. 241-249.
- LAURANCE, W. F.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S. G. W. Impacts of roads and linear clearings on tropical forest. **Trends in Ecology and Evolution**. London: Elsevier. v. 24, nº 12, 2009. p. 659-669.
- LAURANCE, W. F.; SAYER, J.; CASSMAN, K. G. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. **Trends in Ecology and Evolution**. London: Elsevier. XX. 2013. p. 1-10.
- LESBARRERES, D.; FAHRIG, L. Measures to reduce population fragmentation by roads: what has worked and how do we know? **Trends in Ecology and Evolution**. [s.l.]: Elsevier. July, 2012, Vol. 27, No. 7. P. 374-380.
- MARGARIT, E. O processo de ocupação do espaço ao longo da BR-163: uma leitura a partir do planejamento regional estratégico da Amazônia durante o governo militar. **Geografia em Questão**. [s.l.]: Associação dos Geógrafos Brasileiros. v. 6, nº 01, 2013. p. 12-31.
- MARRIS, E. The forgotten ecosystem. **Nature**. [s.l.]: Nature publishing group. 13 October, 2005, 437. Pp. 944-945.
- MENDONÇA, F. Geografia Socioambiental. **Terra Livre**. São Paulo: Associação dos Geógrafos Brasileiros (AGB), n. 16, ano 18. 1º semestre. 2001. p. 139-158.
- MORAES, A. C. R. **Geografia: Pequena História Crítica**. São Paulo: Annablume. 20ª edição. 2007. 48p.
- MOREIRA, R. **O que é Geografia?** Brasília: Coletivo Território Livre. 2ª edição. Primavera, 2012. 62p.
- MYERS, M. *et al.*, Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. [s.l.]: Macmillan. v. 403. 2000. Pp. 853-858.
- NELBOLD T. *et al.*, 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature**. [s. l.]: Macmillan. V. 520, 2015. p. 45-50.
- NUNES, B. F. O Sentido Urbano de Ocupações Espontâneas do Território: Uma Periferia de Brasília. **In: NUNES, B. F. (org.) Sociologia de Capitais Brasileiras: Participação e Planejamento Urbano**. Brasília: Liber Livro, 2006, p. 35-63.
- PASSOS, M. M. A Cuiabá-Santarém (BR-163) no contexto da ocupação da Amazônia brasileira. **Revista Geográfica De América Central**, 2(47E), 2011. p. 1-23

- PASSOS, M. M. BR-163, de Cuiabá a Santarém: o papel dos agentes e sujeitos no ordenamento do território e na implementação de políticas públicas. *Ciência e Trópico*. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, v. 41, nº 1. 2017. p. 139-164.
- PRADO, T. R.; FERREIRA, A. A.; GUIMARÃES, Z. F. S. Efeito da implantação de rodovias no cerrado brasileiro sobre a fauna de vertebrados. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. Maringá: Eduem, v. 28, n. 3, julho/setembro 2006, p. 237-241.
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Planta, 2006, 328p.
- ROSA, C. A. **Efeito de Borda de Rodovias em Pequenos Mamíferos de Fragmentos Florestais Tropicais**. 2012, p. 101. Dissertação de mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas. Universidade Federal de Lavras, 2012.
- ROSA, C. A.; BAGER, A. Review of The Factors Underlying and Effects of Roads on Vertebrates. **Oecologia Australis**. Lavras: [s. ed.]. v. 17, n. 1, 2013, p. 208-221.
- SELVA, N.; SWITALSKI, A.; KREFT, S.; IBISCH, P. L. Why keep areas road-free? The importance of roadless areas. **In: VAN DER REE, R; SMITH, D. J.; GRILO, C. Handbook of Road Ecology**. Chichester: Wiley-Blackwell. 2015. p. 16-26.
- SPELLERBERG, I. S. Ecological effects of roads and traffic: A literature review. **Global Ecology and Biogeography Letters**. Canterbury: Blackwell, v. 7, n. 5, Sep., 1998, p. 317-333.
- STONER, D. The toll of the automobile. **Science**. [s. l.]: [s. ed.], v. LXI, n. 1568, 1925, p. 56-57.
- TINY, J. **Biogeography: a study of plants in the ecosphere**. London: Routledge. 2014. p. 440.
- TROMBULAK, S. C; FRISSELL, C. A. Review of ecological effect of roads on terrestrial and aquatic communities. **Conservation Biology**. [s. l.]: Wiley, v. 14, n. 1, Feb., 2000, p. 18-30
- VAN DER REE, R. *et al.*, Effects of Roads and Traffic on Wildlife Populations and Landscape Function: Road Ecology is Moving toward Larger Scales. **Ecology and Society**. [s.l.]: [s. ed.], v.16, n.1, March, 2011, article 48.
- 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: VAN DER REE, R; SMITH, D. J.; GRILO, C. Handbook of Road Ecology**. Chichester: Wiley-Blackwell. 2015. p. 1-9.
- VIADANA, A. G. Biogeografia Natureza, propósitos e tendências. **In: VITTE, A. C (org.); GUERRA, A. J. T. (org.). Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. 2ª edição Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.
- XIAO, Y.; WATSON, M. Guidance on Conducting a Systematic Literature Review. **Journal of Planning Education and Research**. [s.l.]: SAGE Journals. 39(1). 2019. p. 93–112.



## 2. CAPÍTULO II - DINÂMICA DAS RODOVIAS: O PAPEL DO TRÁFEGO NOS ÍNDICES DE ATROPELAMENTOS DE FAUNA.

Tatiana Rolim Soares Ribeiro<sup>1</sup>  
Ruth Elias de Paula Laranja<sup>2</sup>  
Camila Barreiros Barbieri<sup>3</sup>

### Resumo

O presente estudo buscou compreender os efeitos da velocidade e do tráfego de veículos na fauna atropelada em rodovias próximas a Unidades de Conservação (UC) do DF. Dados de atropelamentos em três segmentos rodoviários foram sobrepostos às informações sobre o volume de tráfego, registros de infrações e sinalização vertical. Os resultados evidenciam uma correlação positiva fraca entre atropelamentos e o volume de tráfego anual ( $\rho = 0,470$ ;  $p < 0,05$ ). Não foram encontradas significâncias estatísticas nos índices de correlação entre atropelamentos e infrações de excesso de velocidade e não há evidências de que a inserção da sinalização vertical (SV) surtiu efeito sobre os registros de atropelamentos a 200m ( $V=387$ ;  $p > 0,3$ ) ou a 500m ( $V=437.5$ ;  $p > 0,5$ ) da SV. A análise dos dados evidencia uma possível seleção da fauna habituada ao ambiente rodoviário nas CAV e a consequente intensificação do efeito de borda, da fragmentação e do isolamento de espécies nas UC adjacentes. Propõe-se: novos estudos que avaliem a inserção de estruturas capazes de reconectar as áreas afetadas; a continuidade de projetos de monitoramento; e, a melhoria no acesso aos dados de infrações de trânsito.

**Palavras-chave:** Colisão entre Animais e Veículos; Mitigação de Impactos; Sinalização Vertical; Avaliação de Eficácia; Unidades de Conservação.

## DYNAMICS OF ROADS: THE ROLE OF TRAFFIC IN THE NUMBER OF ACCIDENTS WITH FAUNA.

### Abstract

The present study sought to acknowledge the effects of velocity and vehicle traffic on animal roadkills on roads nearby Protected Areas (PA) in the Federal District - Brazil. Data on roadkill events for three road segments were superimposed on information on traffic volume, records of speeding infractions, and installation of vertical signs (VSs). The results showed a weak positive correlation between roadkill events and the annual traffic volume ( $\rho = 0.470$ ;  $p < 0.05$ ). No statistical significance was found in the correlation indices between roadkill events and speeding infractions, and there was no evidence that installing VSs had an effect on the records of roadkill within 200 m ( $V = 387$ ;  $p > 0.3$ ) or 500 m ( $V = 437.5$ ;  $p > 0.5$ ) of the VSs. The data analysis showed a possible correlation between the fauna that had become accustomed to the road environment that were in collisions between animals and vehicles (AVCs) and the consequent intensification of the edge effect, fragmentation, and isolation of these species in adjacent PAs. It is proposed that new studies evaluate the installation of structures capable of reconnecting the affected areas, the continuity of monitoring projects, and the provision of improved access to data on traffic violations.

**Keywords:** Animal-Vehicle Collision; Mitigation of Impacts; Vertical Signs; Evaluation of Efficacy; Protected Areas.

*Artigo submetido em 03/11/2021; aceito em 24/02/2022; e, publicado em 02/05/2022 pela Revista Sociedade & Natureza. DOI: 10.14393/SN-v34-2022-63884*

## **2.1. Introdução**

No Brasil, os investimentos nas infraestruturas de transportes são historicamente justificados pelo desenvolvimento econômico (PEREIRA; LESSA, 2011). A concentração no modal rodoviário e a conseqüente expansão das rodovias, porém, impactam uma das principais estratégias de proteção ambiental adotadas no país: a criação das áreas protegidas (BRASIL, 2000).

As Unidades de Conservação (UC) são espaços territoriais delimitados com o objetivo de proteger áreas nativas e seus sistemas naturais. Atualmente, as UC recobrem cerca de 18% do continente brasileiro (BRASIL, 2021). Ocorre que a delimitação de áreas com regimes legais diferenciados não impede a exposição da fauna e da flora aos impactos das rodovias (FORMAN et al., 2003; NELBOLD et al., 2015). A depender da capacidade de adaptação da biota, as alterações ambientais causadas pela operação rodoviária podem ser suficientes para afetar a composição e a distribuição de organismos que habitam as proximidades (COFFIN, 2007; LAURANCE; GOOSEM; LAURANCE, 2009).

Para as espécies da fauna tolerantes aos ambientes rodoviários, os efeitos negativos diretos incluem as colisões entre animais e veículos (CAV; FORMAN et al., 2003; RYTWINSKY; FAHRIG, 2012). Estima-se que cerca de 475 milhões de animais são atropelados nas rodovias brasileiras a cada ano (CBEE, 2021). Em UC criadas para proteger espécies sensíveis às mudanças ambientais e/ou em risco de extinção, o controle das CAV é essencial e pode mostrar-se complexo a depender da localização da reserva (BRASIL, 2000; STRASSBURG et al., 2017).

Por ser um país megadiverso, o Brasil dispõe de áreas cujas características socioambientais evidenciam as dificuldades encontradas na tentativa de sanar os impactos das CAV às UC em ambientes urbanos. No Cerrado, segundo maior bioma do país, concentram-se áreas de relevância ecológica, mas a descaracterização das fitofisionomias típicas do bioma - relacionadas, principalmente, ao avanço da urbanização e à agropecuária

- comprometem a manutenção das altas taxas de endemismo observadas em seus ambientes naturais (MYERS et al., 2000; MARRIS, 2005; FRANÇOSO et al., 2016; STRASSBURG et al., 2017). Atualmente, cerca de 9% da área de extensão do Cerrado é protegida por UC (BRASIL, 2021), no entanto, a maior parte das reservas é delimitada por faixas de rodagem de veículos (LAURANCE; BALMFORD, 2013).

Tendo em vista que as rodovias são o meio físico utilizado para facilitar a locomoção de automotores, é de se esperar que as variáveis que definem o período de maior atividade das populações habitantes das UC próximas aos trechos viários sejam também influenciadas pela dinâmica de tráfego (SELVA et al., 2015; VISINTIN; VAN DER REE; MCCARTHY, 2016; VISINTIN et al., 2018).

As variáveis velocidade e volume de tráfego descrevem o fluxo veicular que, por sua vez, pode definir a janela de oportunidade para uma travessia bem-sucedida ou mesmo influir sobre o comportamento e a ocorrência de animais na zona de influência rodoviária.

Medidas que visam atenuar os efeitos destas variáveis sobre a intensificação de incidentes são comumente verificadas nas rodovias brasileiras (BAGER, 2003). A sinalização vertical (SV) que informa os condutores sobre a velocidade máxima permitida nas vias ou os adverte sobre a possível travessia de animais silvestres é a principal medida mitigadora de atropelamentos implantada nas rodovias (KHALILIKHAH; HEASLIP, 2017). Logo, é reconhecido o papel da velocidade na redução de colisões com veículos, mas a avaliação da eficácia das placas para essa finalidade é ainda incipiente e pouco compreendida (RYTWINSKI et al., 2016).

As referidas variáveis de operação do tráfego podem, deste modo, ser relacionadas aos índices de atropelamentos para traçar novas estratégias de conservação ou mesmo avaliar técnicas já aplicadas com o intuito de diminuir os danos ambientais gerados pela perda da fauna nas rodovias (SELVA et al., 2015; VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015).

Sendo assim, o presente estudo visa compreender o papel das variáveis velocidade e volume de tráfego nos índices de CAV das vias que margeiam as UC do Distrito Federal; e, verificar se a SV instalada nessas rodovias pode coibir tais incidentes.

## **2.2. Materiais e Métodos**

### **2.2.1. Área de estudo**

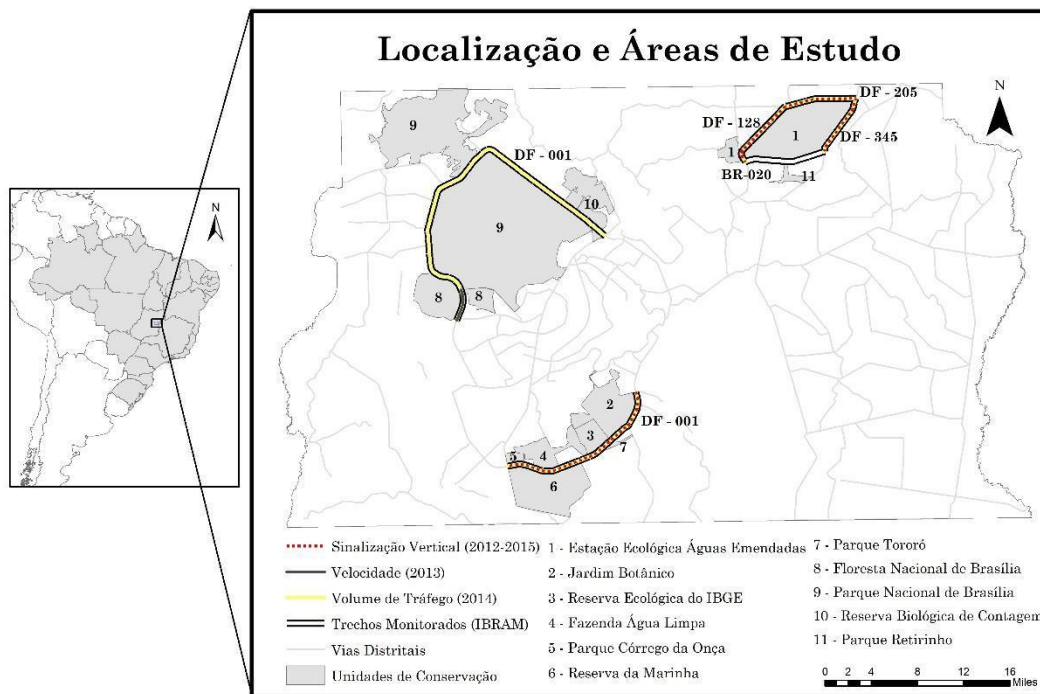
O estudo foi conduzido na área de abrangência do Distrito Federal -DF. Trata-se da menor unidade federativa do território brasileiro, ocupando uma área de cerca de 5.800 quilômetros quadrados (IBGE, 2021). Sua extensão possui litologia representativa da ecorregião do Planalto Central e vegetação nativa típica do bioma Cerrado (ARRUDA et al., 2006).

As rodovias estudadas foram definidas pelos dados de atropelamentos de fauna produzidos pelo Instituto Brasília Ambiental (IBRAM), entidade responsável pela fiscalização e administração das UC do DF.

Os monitoramentos ocorreram em trechos de rodovias próximas às UC e em três percursos: dois na rodovia DF-001; e, outro em segmentos das rodovias DF-128, DF-345, DF-205, e BR-020.

Destaca-se, porém, que a combinação das informações de CAV com os dados de infrações, volume veicular e sinalizadores verticais resultou em três recortes espaço-temporais da área original: um para cada análise. Apenas as vias distritais foram avaliadas, portanto, o segmento da BR-020 foi desconsiderado (Figura 1b).

Figura 1b - Localização e definição da área de estudo. Em linhas pretas duplas: trechos rodoviários monitorados pelo IBRAM; em vermelho pontilhado: avaliação da eficácia da SV entre 2012 e 2015; em cinza escuro: correlação das CAV às infrações de trânsito em 2013; em amarelo: correlacionados atropelamentos e volumes de tráfego em 2014; quadriláteros em cinza: Unidades de Conservação margeadas pelas rodovias; e, em linhas acinzentadas: vias distritais do DF.



Fonte: Os autores (2021; Adaptado: IBRAM, 2013).

### 2.2.2. Obtenção dos Dados

A coleta de informações de atropelamentos foi realizada entre abril de 2010 e março de 2015. Os métodos seguidos são os mesmos descritos no relatório final do projeto RODOFAUNA e a base de dados utilizada é a mesma disponibilizada no sítio do IBRAM (IBRAM, 2013; IBRAM, 2021).

As informações referentes à localização dos Controladores Eletrônicos de Velocidade (CEV), ao volume veicular e aos sinalizadores verticais foram obtidas a partir de trabalhos de campo e de relatórios disponibilizados pelo Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal (DER-DF; DER-DF, 2014).

A organização das informações espaciais nas bases de dados e a elaboração dos mapas foram desenvolvidas no *software* Arcgis (v. 10.8). As análises estatísticas, no *R studio* (v. 2021.09.0).

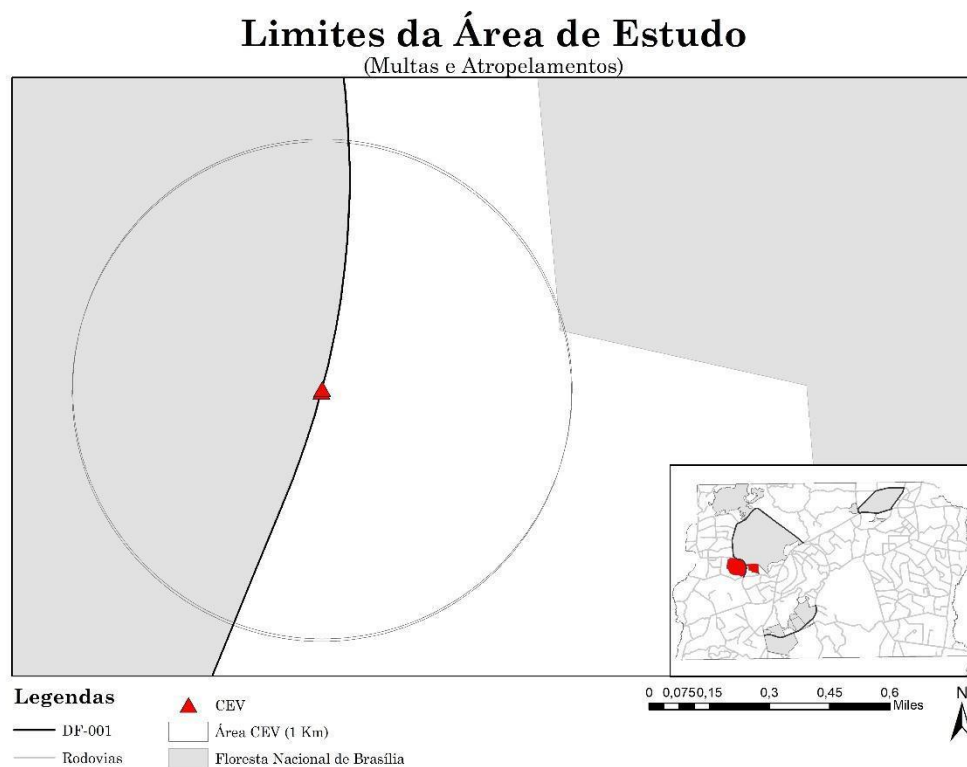
### **2.2.3. Análises Estatísticas**

Para avaliar a influência da velocidade sobre os índices de atropelamentos de animais, o limite máximo permitido em cada trecho viário foi assumido como o mínimo empregado pelos motoristas.

A partir desta premissa, os dados dos incidentes foram correlacionados às infrações por excesso de velocidade registradas nas vias monitoradas pelo IBRAM. Como a base de dados cedida pelo DER-DF continha apenas infrações de 2013, somente os atropelamentos observados no mesmo ano foram analisados. Nesse período, havia dois CEV fixados em ambos os sentidos da DF-001, no trecho que contorna a Floresta Nacional Brasília (FNB; Figura 2b).

Em rodovias, a autonomia no emprego de diferentes velocidades faz com que o levantamento desta variável a partir das multas fique restrito à região próxima do ponto de medição. Assim, foram incluídos na análise apenas os atropelamentos observados a uma distância de até 1000 metros dos CEV (Figura 2b).

Figura 2b - Trechos rodoviários monitorados pelo IBRAM, Unidades de Conservação, redutores de velocidade e respectivas áreas de influência.



Fonte: Os autores (2021).

As informações de volume veicular referem-se aos valores de Tráfego Médio Diário (TMD; DER-DF, 2014). Tendo em vista que o método para a obtenção do TMD baseia-se no ano de 2014, os dados de atropelamentos relacionados a essa variável são dos registros obtidos nesse período. As vias analisadas pelo IBRAM possuem juntas 108,5 quilômetros de extensão e foram divididas em vinte trechos rodoviários para a medição do TMD. Como os segmentos rodoviários possuem variadas extensões, a contagem de atropelamentos nas vias se deu a cada quilômetro e os valores do TMD foram divididos pela extensão de cada trecho rodoviário para garantir a uniformização dos dados.

A obtenção dos índices de diversidade e dominância de espécies se deu pelo cálculo do índice *Simpson* (SIMPSON, 1949).

Para verificar se existe diferença entre a ocorrência de atropelamentos antes e após a instalação da SV nas vias, as devidas informações de localização e de data de instalação foram solicitadas ao DER-DF, mas a base cedida pelo órgão não dispunha de ambos os dados para todos os avisos. Como a análise de eficácia depende da disponibilidade

concomitante das duas variáveis, foram desconsideradas todas as vias cuja SV não dispunha de ambas as informações.

O efeito das placas fica restrito a área de visão dos motoristas, portanto, foram considerados os atropelamentos ocorridos dentro de duas zonas de influência: uma a 200 e outra a 500m da SV (COLLINSON et al., 2019). Os incidentes ocorridos foram avaliados em períodos de mesmo intervalo, anteriores e posteriores às datas em que os avisos foram fixados.

A estimativa do grau de influência de velocidades superiores à permitida e do volume médio de tráfego sobre as CAV foi verificada a partir do teste do Coeficiente de Correlação de *Spearman*, definido após a verificação da distribuição dos dados pelo Teste Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965; TORMAN; COSTER; RIBOLDI, 2012).

Os efeitos da instalação das placas foram calculados a partir da aplicação do Teste de Wilcoxon e da análise exploratória dos dados (REY; NEUHAUSER, 2011).

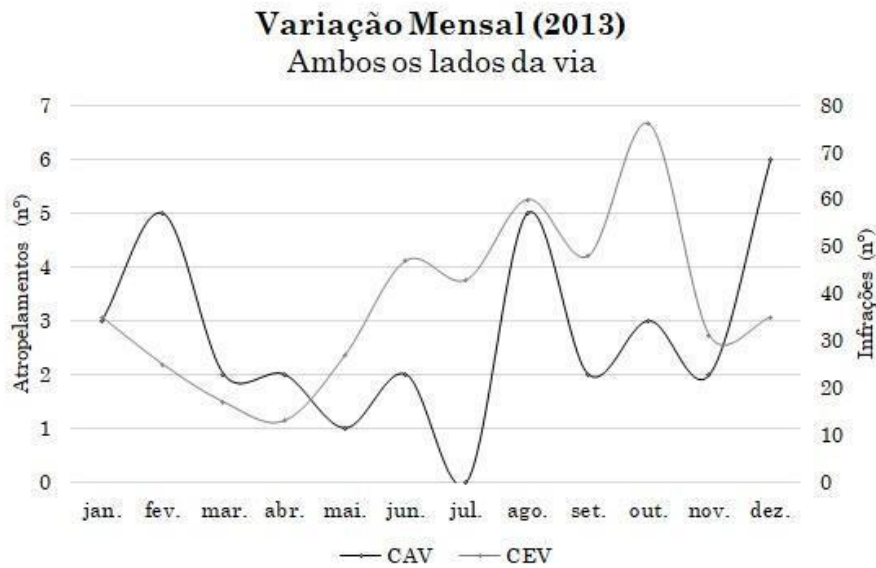
### **2.3. Resultados e Discussão**

Conforme as informações cedidas pelo DER-DF e nos mesmos dias em que a via foi monitorada pelo IBRAM, os dois CEV registraram juntos 457 infrações (170 do lado direito e 287 na direção oposta da via).

Ao averiguar as variações mensais dos CAV e das infrações ocorridas em cada lado da pista, não foram observadas semelhanças relevantes. Porém, quando somadas as amostras em ambos os sentidos, a variação das CAV no ano de 2013 é semelhante à das infrações ocorridas entre maio e novembro (Figura 3b). As diferenças entre as variações observadas nos dois lados da via podem ser justificadas pelas condições estruturais do trecho, já que a alta demanda diminui o tempo de vida do asfalto e eleva a necessidade de manutenção viária. Em 2014, mais da metade das vias avaliadas no DF possuíam pavimentos desgastados, trincas em malhas, remendos, afundamentos, ondulações ou buracos (CNT, 2014).



Figura 3b - Variações mensais das CAV e dos registros de infrações no ano de 2013.



. Fonte: Os autores (2021).

A aparente semelhança na distribuição dos dados ao longo dos meses não foi confirmada pelo teste de *Spearman*, posto que não houve significância estatística na análise da correlação entre as CAV e as infrações em cada e em ambos os sentidos do trecho viário (Tabela 1b). Os índices obtidos evidenciam, porém, uma relação positiva e baixa entre os volumes de tráfego e as CAV ( $\rho = 0.470$ ;  $p < 0,05$ ; Tabela 1b).

Tabela 1b - Coeficientes de correlação ( $\rho$ ) e significâncias bicaudais das correlações entre atropelamentos; registros de infrações em ambos e em cada lado da via; e, volumes de tráfego ( $\text{Km}^{-1}$ ). Fonte: os autores.

#### Correlação de Postos de *Spearman*

|         | Direita | Esquerda | Total | TMD    |
|---------|---------|----------|-------|--------|
| P       | 0.125   | 0.326    | 0.170 | 0.470  |
| P-valor | 0.698   | 0.300    | 0.595 | < 0,01 |

Fonte: Os autores (2021).

A baixa significância estatística verificada pode ser relacionada à restrição dos dados das infrações (disponíveis apenas em 2013). Portanto, projetos como o RODOFAUNA, que possibilitam o levantamento de dados de atropelamentos em uma ampla escala de tempo são necessários e devem ser estimulados para a melhor compreensão dos efeitos das dinâmicas de tráfego sobre as CAV. Já o acesso aos registros de infrações deve ser melhorado, considerando as devidas limitações relacionadas ao sigilo ou impostas pela legislação

pertinente. Assim, a relação entre essas duas variáveis poderá ser reavaliada com conjuntos de dados mais robustos e a insignificância, superada pela intensificação do esforço amostral.

Os índices volumétricos de tráfego medidos possuem elevada amplitude (médias diárias anuais de 164 a 21847 veículos) e o trecho de maior medida é o mesmo da DF-001 onde estão localizados os CEV previamente avaliados. Em rodovias, o volume de tráfego é uma variável temporal positivamente relacionada aos horários de maior demanda. Em áreas urbanas, a chamada hora do *rush*, tem o potencial de influenciar o comportamento de aversão a rodovias (GAYNOR et al., 2018; FAHRIG; RYTWINSKI, 2009), mas ao avaliar a relação das CAV em escala temporal ampla, como volumes médios diários anuais, a relação positiva entre as variáveis investigadas não sugere comportamentos aversivos nas vias mais movimentadas. Todavia, a apuração da composição da fauna atropelada evidencia que a maior parte das espécies acometidas são tolerantes aos ambientes rodoviários.

De acordo com os dados, o Tiziu (*Volatinia jacarina*), representou cerca de um quarto (24,14%) dos animais identificados acometidos por atropelamentos no período estudado. Trata-se de uma ave silvestre, passeriforme, presente em todo o Brasil, vista com frequência em áreas alteradas e savanas (CARVALHO; MACEDO; GRAVES, 2007). Gatos (*Felis catus*) e Cachorros (*Canis familiaris*) domésticos representaram, juntos, a segunda maior parcela dos dados (15,05%). O montante registrado em 2014 possui ao menos 81 espécies representantes da fauna, dessas, 76 são silvestres e duas (*Sylvilagus brasiliensis* e *Pseudalopex vetulus*) possuem graus de ameaça no Livro Vermelho das Espécies Ameaçadas (IUCN, 2021).

Observa-se ainda, que a dimensão das reservas não é proporcional à diversidade de espécies calculada, relação comumente identificada em áreas protegidas (Tabela 2b; PRIMACK; RODRIGUES, 2006; MAIORANO; FALCUCCI; BOITANI, 2008).

Tabela 2b - Número de indivíduos (n) e de espécies (s) coletadas nas vias adjacentes às UC avaliadas (UC). Extensão das vias que contornam as UC (ext.rod); frequência de atropelamentos por quilômetro (CAV/Km); índice de dominância de *Simpson* (D); e, índice de diversidade (1-D).

| <b>CAV e Índices de Diversidade</b> |          |          |                     |               |          |            |
|-------------------------------------|----------|----------|---------------------|---------------|----------|------------|
|                                     | <b>n</b> | <b>s</b> | <b>ext.rod (Km)</b> | <b>CAV/Km</b> | <b>D</b> | <b>1-D</b> |
| ESECAE                              | 211      | 54       | 23,6                | 8,941         | 0,082    | 0,918      |
| JBB/FAL/IBGE                        | 198      | 48       | 23,8                | 8,319         | 0,104    | 0,896      |
| PNB/FNB                             | 261      | 43       | 50,1                | 5,210         | 0,127    | 0,873      |

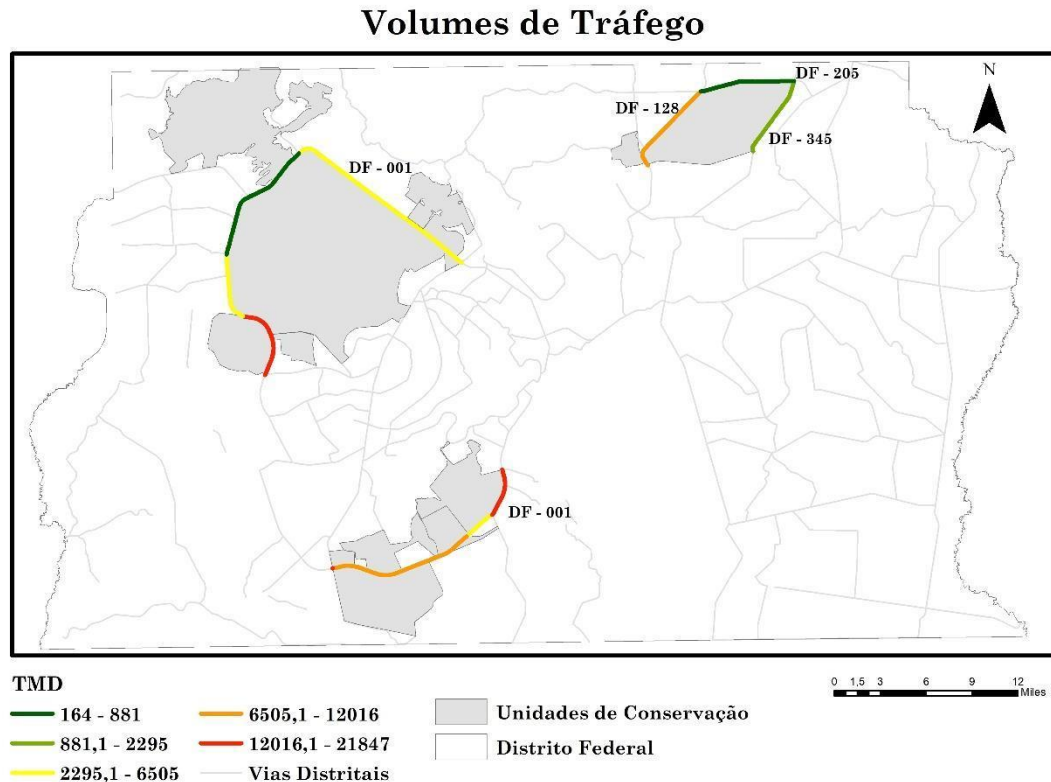
Fonte: Os autores (2021).

Juntos, o Parque e a Floresta Nacional de Brasília (FNB; PNB) possuem 516,91 km<sup>2</sup>, mas apresentam o menor índice de diversidade de espécies atropeladas (0,872). Já a Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE), com 91,81 km<sup>2</sup>, tem a maior diversidade de registros (0,918), montante próximo, porém superior ao verificado no mosaico de UC que contorna o percurso ao sul da DF-001 (JBB/FAL/IBGE). A área dos parques é proporcional à extensão das vias adjacentes, portanto, as taxas de CAV foram também elevadas na menor reserva.

A parcela representativa de espécies mais abundantes em amostragens de CAV já é prevista, mas em reservas extensas, espera-se que a riqueza de espécies seja superior à observada em áreas menores, fato não verificado na relação de CAV (HANSEN; DEFRIES, 2007; Tabela 2b). Tal informação poderia ser justificada pelas zonas tampão das UC, que garantem uma maior proteção das regiões centrais em comparação às suas margens (GRAY et al., 2016). Mas, como todas as UC estão delimitadas por rodovias e as CAV estão nos ambientes rodoviários, não há justificativa para a reserva de menor extensão possuir a maior diversidade de espécies atropeladas nas vias adjacentes.

Constata-se ainda que as rodovias que contornam áreas extensas de UC possuem também trechos com elevados TMD (Figura 4b).

Figura 4b - Gradiente dos volumes de tráfego (TMD) nas rodovias avaliadas em 2014.



. Fonte: Os autores (2021).

Ao avaliar a paisagem, as reservas ambientais inseridas em áreas modificadas são comumente associadas a ilhas de vegetação nativa envolvidas por um oceano de ambientes modificados (PRIMACK; RODRIGUES, 2006). Tal abstração costuma embasar o modelo conceitual da biogeografia de ilhas para explicar a fragmentação de habitats, o que na prática pode apresentar algumas limitações (MACARTHUR, 1965; LAURANCE, 2008).

O espaço é dinâmico: em ambientes antrópicos, as alterações são aceleradas e constantes (NELBOLD et al., 2015; LIU; HE; WU, 2016). Rodovias são empreendimentos singulares, pois o fluxo veicular evidencia o movimento contínuo nos recortes lineares. Com padrão pendular e períodos de atipicidade bem definidos, as vias aderem outro significado ao processo de fragmentação de habitats quando próximas às áreas protegidas (FORMAN et al., 2003; RYTWINSKI; FAHRIG, 2012). Nesse cenário, os traços viários seriam melhor compreendidos se comparados a rios cujas vazões variam em diferentes escalas temporais.

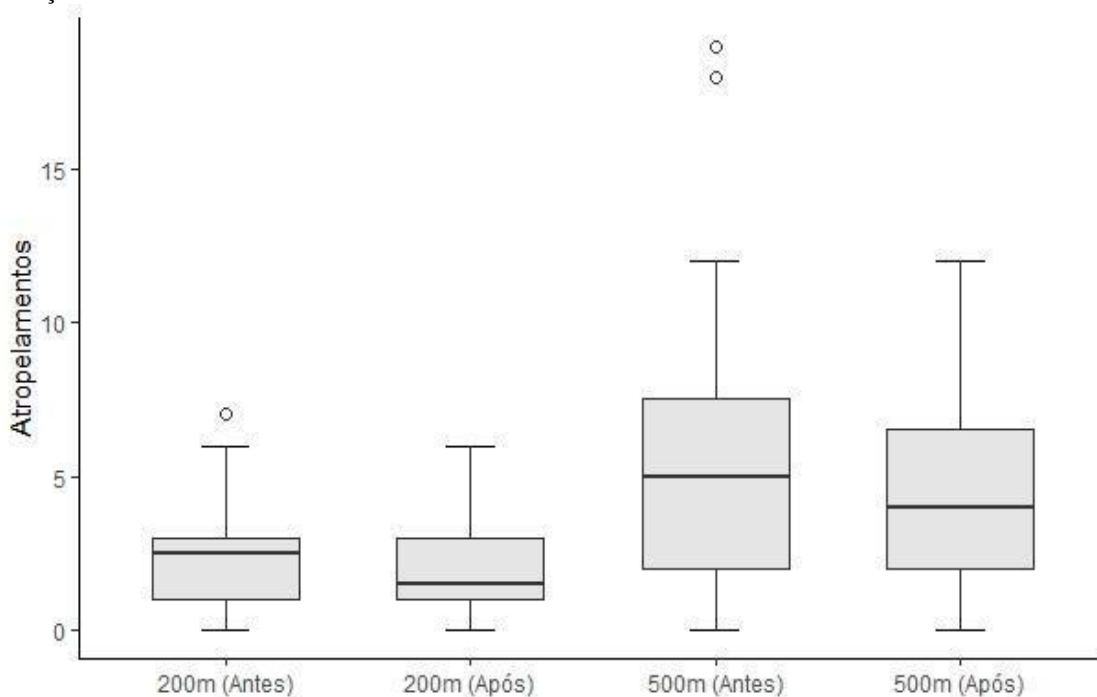
As mudanças nos ambientes químico e físico promovidas pela operação das rodovias agravam o efeito de borda nas margens das UC e a vegetação nativa é alterada na mesma medida em que a distância do centro da reserva é ampliada (VAN DER REE et al., 2011;

LAURANCE; BALMFORD, 2013). Para a fauna, as espécies menos tolerantes isolam-se na UC e as habituadas aos distúrbios correm o risco de atropelamento em cada contato com a via.

No presente estudo, as frequências dos atropelamentos e os menores índices de diversidade das espécies nos trechos mais movimentados, sugerem uma possível seleção das espécies habituadas às variações anuais do tráfego em CAV. Sendo assim, é de se considerar que a concentração de veículos nos segmentos viários estudados potencializa o efeito de borda nas zonas tampão e o isolamento das espécies nas UC, o que afeta a capacidade de sobrevivência das populações locais, a diminuição demográfica e a perda da diversidade genética (LAURANCE, 2008; FORMAN et al., 2003; HOOPER et al., 2012).

Sobre o efeito da SV na redução da velocidade, ao averiguar a distribuição dos dados de atropelamentos em diagramas de caixas nota-se a redução das medianas e das amplitudes interquartil nos dois conjuntos de CAV registrados após a inserção dos avisos em ambas as áreas avaliadas (200 e 500m). Antes da instalação da SV, verificam-se *outliers* acima dos limites superiores (Figura 5b).

Figura 5b - Diagramas de caixas sobre a distribuição das CAV registradas a 200 e a 500m da SV antes e após a sua instalação entre 2012 e 2015.



Fonte: os autores.

Mesmo com a redução nos valores absolutos (de 86 para 73 a 200m; de 212 para 178 a 500m) e nas variações das ocorrências nos grupos investigados (Figura 5b), não houve significância estatística na mediana das diferenças entre os atropelamentos ocorridos antes e após a inserção da SV em nenhuma das distâncias avaliadas, não sendo possível, assim, afirmar que a SV surtiu qualquer efeito sobre as CAV (Tabela 3b).

Tabela 3b - Registros de atropelamentos antes ( $n_1$ ) e após ( $n_2$ ) a instalação da SV, resultados do teste de Wilcoxon e referidas significâncias bicaudais.

| <b>Teste Wilcoxon</b> |                         |                         |          |                |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------|----------------|
|                       | <b><math>n_1</math></b> | <b><math>n_2</math></b> | <b>V</b> | <b>P-valor</b> |
| <b>200m</b>           | 86                      | 73                      | 387      | 0.3937         |
| <b>500m</b>           | 212                     | 178                     | 437.5    | 0.5093         |

O principal argumento para justificar a ineficácia da SV na redução de atropelamentos baseia-se no fato de que os motoristas se habituem aos avisos e passam a desconsiderá-los com o tempo (KHALILIKHAH; HEASLIP, 2017), mas também pode estar

relacionada à falta de qualidade da infraestrutura viária. A SV perde o efeito quando depredada, quebrada ou mesmo obstruída pela vegetação. Em 2014, 9,8% da sinalização avaliada no DF foi classificada como ruim ou péssima (CNT, 2014).

Destaca-se, porém, que a maior parte dos avisos aqui avaliados (84%) apenas informam os motoristas sobre a velocidade máxima permitida na via e que a análise sobre o efeito desse tipo de SV na redução das CAV tem duas considerações: que o motorista é prudente e que a manutenção da velocidade máxima legal é capaz de inibir os atropelamentos. Sendo assim, conclui-se que a SV com finalidade diversa à mitigação não pode ser aplicada para tal.

Entre 2012 e 2015, a baixa proporção da SV que informa sobre a possível travessia de animais silvestres nas vias foi agravada pela indisponibilidade dos dados cedidos pelo DER-DF e afastou a expectativa de incluir os diferentes tipos de sinalização na análise. Em vias que chegam a delimitar UC espera-se que esse tipo de aviso seja intensificado, fato não observado na presente pesquisa.

## **2.4. Conclusões**

O risco de atropelamentos é resultado da presença simultânea da fauna e de veículos no mesmo local. Para que tal cenário resulte em uma CAV, os mecanismos de ação do motorista ou do animal devem ser insuficientes para evitar a colisão. A velocidade influencia a capacidade de resposta de ambos os envolvidos e o volume, a permeabilidade da via.

A avaliação dos dados obtidos possibilita considerar que o volume de tráfego está relacionado à uma baixa intensificação dos CAV. Os índices de diversidade de animais encontrados nas pistas com tráfegos veiculares superiores sugerem uma possível intensificação dos impactos da fragmentação e do efeito de borda na zona de influência rodoviária. Porém, as correlações encontradas entre as CAV e as infrações de excesso de velocidade são estatisticamente desprezíveis. Já a inserção da SV nas vias não surtiu efeito significativo na redução dos atropelamentos.

A manutenção da dinâmica dos sistemas naturais e a delimitação de áreas para proteger os ambientes nativos são práticas desafiadoras que abrangem conflitos de interesse no ordenamento urbano (PIMM et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2017; D'AMICO et al., 2020). Considerando que a intensificação da pressão exercida sobre as UC em ambientes

antrópicos e delimitadas por rodovias é contínua e tende a aumentar com o crescimento das cidades, estudos que avaliam as dinâmicas humanas capazes de afetar as UC e que identifiquem as práticas com bons resultados na diminuição dos danos provocados pelas CAV são cada vez mais necessários. Sendo assim, indica-se novos estudos para avaliar a inserção de estruturas capazes de reconectar as áreas afetadas; e, que as rodovias adjacentes às UC sejam continuamente monitoradas. Para tanto, é necessária a continuidade de projetos de monitoramento das vias adjacentes à UC e a melhoria no acesso aos dados de infrações de trânsito.

## 2.5. Bibliografia

- ARRUDA, M.B.; PROENÇA, C.E.; RODRIGUES, S.; CAMPOS, R.N.; MARTINS, R.C.; MARTINS, E.S. Ecorregiões, Unidades de Conservação e Representatividade Ecológica do Bioma Cerrado, **In:** Ribeiro, J.F. Walter, T.M.B.; Sano, S. (Orgs.). Fitofisionomias do bioma Cerrado. Cerrados: ambiente e flora. 2º ed., Planaltina: Embrapa, 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/570911/cerrado-ecologia-e-flora>. Acesso em: 16/01/2018.
- BAGER, A. Repensando as Medidas Mitigadoras Impostas aos Empreendimentos Rodoviários Associados a Unidades de Conservação - Um Estudo de Caso. **In:** BAGER, A. (ed.) Áreas Protegidas: Conservação no Âmbito do Cone Sul. Pelotas: Edição do Editor, 2003, p. 223. Disponível em: [https://issuu.com/porta.cbee/docs/repensando\\_as\\_medidas\\_mitigadoras\\_i](https://issuu.com/porta.cbee/docs/repensando_as_medidas_mitigadoras_i). Acesso em: 05/01/2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Painel de unidades de conservação brasileira. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNDJiMTk4MGUtYmU0Ny00YzEwLWJmMzctNTZkM2JlMTBmOThlIiwidCI6IjM5NTdhMzY3LTZkMzgtNGMxZi1hNGJhLTMzZThmM2M1NTB1NyJ9&pageName=ReportSection0a112a2a9e0cf52a827>. Acesso em: 24/10/2021.
- BRASIL. Lei no. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Lex:** Diário Oficial da União, n. 138-E, seção 1, de 19 de Julho de 2000, p. 01-07. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm). Acesso em: 01/01/2020.
- CARVALHO, C.; MACEDO, R.; GRAVES, J. (2007). Reproduction of Blue-black Grassquits in central Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 67(2), 275–281. [doi:10.1590/s1519-69842007000200012](https://doi.org/10.1590/s1519-69842007000200012).
- CBEE. **Sistema urubu: Dados.** Estimativa de mortalidade no território nacional. Disponível em: <https://sistemaurubu.com.br/dados>. Acesso em: 03/04/2021.
- CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2014: Relatório Gerencial.** 2014. CNT: SEST: SENAT, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: [https://pesquisarodovias.cnt.org.br/Downloads/Edicoes//2014/Relat%C3%B3rio%20Gerencial/Pesquisa CNT de Rodovias 2014 LOW.pdf](https://pesquisarodovias.cnt.org.br/Downloads/Edicoes//2014/Relat%C3%B3rio%20Gerencial/Pesquisa%20CNT%20de%20Rodovias%202014%20LOW.pdf). Acesso em: 03/10/2020.



- COFFIN, A. W. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. **Journal of Transport Geography**. Gainesville: Elsevier, v. 15, 2007, p. 396-406. [doi:10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006).
- COLLINSON, W. J.; MARNEWECK, C.; DAVIES-MOSTERT, H. T. Protecting the protected: reducing wildlife roadkill in protected areas. **Animal Conservation**. (2019). [doi:10.1111/acv.12481](https://doi.org/10.1111/acv.12481).
- D'AMICO A. R.; CORTES FIGUEIRA J. E.; CÂNDIDO-JR, J. F.; DRUMOND, M. A. (2020) Environmental diagnoses and effective planning of Protected Areas in Brazil: Is there any connection? **PLoS ONE** 15(12): e0242687. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242687>.
- DER-DF. **Sistema Rodoviário do Distrito Federal**. Governo do Distrito Federal, Secretaria de Transportes. 2014. Disponível em: <https://www.der.df.gov.br/sistema-rodoviario/>. Acesso em: 03/07/2018.
- FAHRIG, L.; RYTWINSKI, T. Effects of Roads on Animal Abundance: an Empirical Review and Synthesis. **Ecology and Society**. [s.l.]: [s. ed.], , 2009, 14(1): 21. [doi:10.5751/es-02815-140121](https://doi.org/10.5751/es-02815-140121).
- FORMAN R. T. T. *et al.* **Road Ecology: Science and solutions**. 2003. Island Press, Washington, D. C., USA.
- FRANÇOSO, R. D.; BRANDÃO, R.; NOGUEIRA, C. C.; SALMONA, Y. B.; MACHADO, R. B.; COLLI, G. R. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado biodiversity hotspot. **Natureza & Conservação**. [s. l.]: Elsevier. In: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001>, 2015.
- GAYNOR, K. M.; HOJNOWSKI, C. E.; CARTER, N. H.; BRASHARES, J. S. (2018). The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. **Science**, 360(6394), 1232–1235. [doi:10.1126/science.aar7121](https://doi.org/10.1126/science.aar7121).
- HANSEN, A. J.; DEFRIES, R. (2007). Ecological Mechanisms Linking Protected Areas to Surrounding Lands. **Ecological Applications**, 17(4), 974–988. [doi:10.1890/05-1098](https://doi.org/10.1890/05-1098).
- HOOPER, D. U.; ADAIR, C. E.; CARDINALE, B. J. *et al.* A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. **Nature**. [s.l.]: Macmillan. v. 486. June, 2012. p. 105-109. <https://doi.org/10.1038/nature11118>.
- IBGE. Área territorial brasileira: consulta por unidade da federação. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/df.html>. Acessado em: 20 de setembro de 2020.
- IBRAM. **projeto RODOFAUNA**. Disponível em: <https://www.ibram.df.gov.br/resultados-do-projeto-rodofauna/>. Acesso em: 22 de setembro de 2021.
- IBRAM. **Relatório do projeto RODOFAUNA: diagnóstico e proposição de medidas mitigadoras para atropelamento de fauna**. IBRAM: Brasília, DF. p. 88. 2013. Disponível em: <https://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/Diagn%C3%B3stico-e-Proposi%C3%A7%C3%A3o-de-Medidas-Mitigadoras-para-o-Atropelamento-de-fauna-Resumo-executivo.pdf>. Acesso em: 02 de novembro de 2021.
- IUCN 2021. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2021-2. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 01/05/2021.
- KHALILIKHAH, M., HEASLIP, K. (2017). Improvement of the performance of animal crossing warning signs. **Journal of Safety Research**, 62, 1–12. [doi:10.1016/j.jsr.2017.04.003](https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.04.003).
- LAURANCE, W. F. Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory, **Biological Conservation**, Volume 141, Issue 7, 2008, Pages 1731-1744, ISSN 0006-3207, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.05.011>.

- LAURANCE, W. F.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S. G. W. Impacts of roads and linear clearings on tropical forest. **Trends in Ecology and Evolution**. London: Elsevier. v. 24, nº 12, 2009. p. 659-669. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.009>.
- LAURANCE, W.; BALMFORD, A. A global map for road building. **Nature**. 495, 308–309 (2013). <https://doi.org/10.1038/495308a>.
- LIU, Z.; HE, C.; WU, J. (2016). The Relationship between Habitat Loss and Fragmentation during Urbanization: An Empirical Evaluation from 16 World Cities. **PLOS ONE**, 11(4), e0154613. [doi:10.1371/journal.pone.0154613](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154613).
- MACARTHUR, R. H. (1965). PATTERNS OF SPECIES DIVERSITY. **Biological Reviews**, 40(4), 510–533. [doi:10.1111/j.1469-185x.1965.tb00815.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1965.tb00815.x).
- MAIORANO, L.; FALCUCCI, A.; BOITANI, L. (2008). Size-dependent resistance of protected areas to land-use change. **Proceedings B**, 275 (1640), 1297–1304. [doi:10.1098/rspb.2007.1756](https://doi.org/10.1098/rspb.2007.1756).
- MARRIS, E. The forgotten ecosystem. **Nature**. [s.l.]: Nature publishing group. 13 October, 2005, 437. p. 944-945. <https://doi.org/10.1038/437944a>.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403(6772), 853–858. [doi:10.1038/35002501](https://doi.org/10.1038/35002501).
- NELBOLD T.; HUDSON, L.; HILL, S. *et al.* Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature**. [s. l.]: Macmillan. V. 520, 2015. p. 45-50. <https://doi.org/10.1038/nature14324>.
- OLIVEIRA, U.; SOARES-FILHO, B. S.; PAGLIA, A. P.; BRESCOVIT, A. D.; DE CARVALHO, C. J. B.; SILVA, D. P., ... SANTOS, A. J. (2017). Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. **Nature**. **Scientific Reports**, 7(1). [doi:10.1038/s41598-017-08707-2](https://doi.org/10.1038/s41598-017-08707-2).
- PEREIRA, L. A.; LESSA, S. N. O processo de Planejamento e Desenvolvimento do Transporte Rodoviário no Brasil. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia: Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFU. v. 12, n. 40, dezembro, 2011, p. 26-40. ISSN: 1678-6343. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16414>. Acesso em: 03/04/2019.
- PIMM, S. T.; JENKINS, C. N.; JOPPA, L. N.; ROBERTS, D. L.; RUSSELL, G. J. How Many Endangered Species Remain to Be Discovered in Brazil? **Natureza & Conservação**, 8(1):71-77, July 2010. [doi: 10.4322/natcon.00801011](https://doi.org/10.4322/natcon.00801011).
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Planta, 2006, 328p.
- REY, D.; NEUHÄUSER, M. (2011). Wilcoxon-Signed-Rank Test. **International Encyclopedia of Statistical Science**, 1658–1659. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2\\_616](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2_616).
- RYTWINSKI, T.; FAHRIG, L. Do species life history traits explain population responses to roads? A meta-analysis. **Biological Conservation**, 147(1), (2012). 87–98. [doi:10.1016/j.biocon.2011.11.023](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.11.023).
- RYTWINSKI, T.; SOANES, K.; JAEGER, J. A. G.; FAHRIG, L.; FINDLAY, C. S.; HOULAHAN, J.; VAN DER REE, R.; VAN DER GRIFT. How effective is road mitigation at reducing road-kill? A meta-analysis. **PLoS ONE**. Jun Xu: China. 11 (11). 2016. p. 25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166941>.
- SELVA, N.; SWITALSKI, A.; KREFT, S.; IBISCH, P. L. Why keep areas road-free? The importance of roadless areas. **In**: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. **Handbook of Road Ecology**. Chichester: Wiley-Blackwell. 2015. p. 16-26.
- SIMPSON, E. Measurement of Diversity. **Nature**. 163, 688 (1949). <https://doi.org/10.1038/163688a0>.

- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, 52(3/4), 591. [doi:10.2307/2333709](https://doi.org/10.2307/2333709)
- STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BALBIERI, R.; IRIBARREN, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEK, A. E.; FILHO, F. J. B. O.; SCARAMUZZA, C. A. M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**. [s.l.]: Nature. v. 1, article 0099, 2017, p. 3. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>.
- TORMAN, V. B.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**. 2012;32(2):227-234. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/hcpa/article/view/29874>. Acesso em: 30/06/2021
- VAN DER REE, R. et al. Effects of Roads and Traffic on Wildlife Populations and Landscape Function: Road Ecology is Moving toward Larger Scales. **Ecology and Society**. [s.l.]: [s. ed.], v.16, n.1, March, 2011, article 48. [doi:10.5751/es-03982-160148](https://doi.org/10.5751/es-03982-160148)
- 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: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. Handbook of Road Ecology. Chichester: Wiley-Blackwell. 2015. p. 1-9.
- VISINTIN, C.; VAN DER REE, R.; MCCARTHY, M. A. A simple framework for a complex problem? Predicting wildlife-vehicle collisions. **Ecology and Evolution**, 2016, 6(17), 6409–6421. <https://doi.org/10.1002/ece3.2306>.
- VISINTIN, C.; GOLDING, N.; VAN DER REE, R.; MCCARTHY, M. A. Managing the timing and speed of vehicles reduces wildlife-transport collision risk. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 2018, 59, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.003>.

### **3. CAPÍTULO III – DELIMITAÇÃO DAS ZONAS DE EFEITO DO RUÍDO RODOVIÁRIO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL: UM ESTUDO DE CASO NO DISTRITO FEDERAL – DF**

Tatiana R. S. Ribeiro  
Rodrigo A. Pedroso  
Ruth E. P. Laranja  
Viviane Rocha

**RESUMO:** O presente estudo visa espacializar as Zonas de Efeito do Ruído Viário (ZERV) em seis das Unidades de Conservação de Proteção Integral do DF (UCPI-DF) e estimar o nível de fragmentação associado à operação das rodovias nas áreas de sobreposição entre as ZERV e a extensão das UC avaliadas. Para a definição da extensão das ZERV sobre as UCPI do DF, foram consideradas as áreas por onde se propagam os ruídos sonoros do tráfego de veículos, a partir de uma abordagem simplificada para o mapeamento do som após a modelagem dos níveis de ruído de tráfego na ferramenta *NoiseModelling*. Ademais, o Índice de Fragmentação em Infraestrutura (IFI) de cada feição foi calculado nas áreas de sobreposição entre a ZER dos trechos rodoviários influentes e a UCPI. A partir da análise dos resultados obtidos, infere-se que as ZERV são representativas em UCPI pequenas próximas a rodovias com volumes de tráfego superiores a 60.000 veículos. Porções relevantes das Reservas Biológicas do Guará e do Cerradão (REBIOGUARÁ; REBIOCER) estão sobrepostas às ZERV e ambas possuem áreas expostas a níveis de pressão sonora superiores a 80 dB(A). Os resultados do IFI indicam que o nível de fragmentação associada à operação das rodovias é considerado muito alto na REBIOGUARÁ. Os mapas de vulnerabilidade de habitat evidenciam que os ambientes nativos expostos a níveis de pressão sonora superiores a 70 dB(A) são heterogêneos e devem ser avaliados quanto a possibilidade da degradação associada aos comportamentos aversivos ou adaptativos da fauna influenciada pela ZERV.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ruídos de Tráfego; Fragmentação de habitats; Zonas de Efeito Rodoviário; Ecologia de Estradas.

**ABSTRACT:** This study aims to spatialize the Zones of Road Noise Effect (ZERV) in six of the Protected Areas of the DF (UCPI-DF) and estimate the level of fragmentation associated with highways usage in the overlapping areas between the ZERV and the extent of the UC evaluated. For the definition of the extension of the ZERV over the UCPI-DF, the areas through which the noise of vehicle traffic is propagated were considered, from a simplified approach to sound mapping after modeling traffic noise levels in the *NoiseModelling* tool. In addition, the Infrastructure Fragmentation Index (IFI) of each feature was calculated in the overlapping areas between the ZER of the influential road sections and the UCPI. It is inferred from collected data that the ZERV are representative in small UCPI close to highways with traffic volumes greater than 60,000 vehicles. Relevant portions of the Biological Reserves of Guará and Cerradão (REBIOGUARÁ; REBIOCER) are superimposed on the ZERV and both have areas exposed to sound pressure levels above 80 dB(A). The IFI results indicate that the level of fragmentation associated with the operation of highways is considered very high in REBIOGUARÁ. Habitat vulnerability maps show that native environments exposed to sound pressure levels above 70 dB(A) are heterogeneous and should be evaluated for the possibility of degradation associated with aversive or adaptive behavior of fauna influenced by ZERV.

**KEYWORDS:** Traffic Noise; Habitat fragmentation; Road Effect Zones; Road Ecology.

### **3.1. Introdução**

Rodovias, trilhos e estradas são estruturas amplamente distribuídas no mundo (NELBOLD, *et al.*, 2015, p.46. VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015, p.3). Na América Latina, o Brasil foi o país que mais ampliou a sua frota automotiva montada entre 2010 e 2015 (CNT, 2018). Os aproximados 8,5 milhões de quilômetros quadrados correspondentes à área do território brasileiro já são segmentados por mais de 1,7 milhões de quilômetros de segmentos rodoviários (CNT, 2017). A dimensão dessas infraestruturas do transporte automotivo reflete a relevância da operação desse modal na economia brasileira: mais de 60% do transporte de cargas e cerca de 90% do deslocamento de passageiros estão concentrados no modal rodoviário (CNT, 2018).

Devido ao alto potencial degradante, as influências das estradas e das rodovias devem ser avaliadas e bem compreendidas quando impactam os ambientes autóctones. Os efeitos ecológicos de estradas em comunidades aquáticas e terrestres promovem o aumento na mortalidade durante a construção da via; o aumento da mortalidade por colisão com veículos; mudanças no comportamento das espécies afetadas; a alteração dos ambientes físico e químico; criam vias de dispersão de espécies exóticas; facilitam a sobrexploração de habitats; e, ampliam os ambientes alterados por seres humanos (TROMBULAK; FRISSEL, 2000, p. 19).

Dentre as principais estratégias adotadas no Brasil para conter o avanço da destruição e da transformação de ambientes naturais está a criação das áreas protegidas. Nas tipologias legais que qualificam o resguardo e que definem o regime especial de proteção do local, as Unidades de Conservação (UC) são as reservas que integram o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e que visam, entre outros objetivos, garantir a manutenção da diversidade biológica e dos recursos ambientais no território nacional (BRASIL, 2000, art. 4).

O SNUC, é composto por doze categorias de UC, divididas em dois grupos: o de Proteção Integral (PI) - que aspira à preservação do ambiente resguardado, restringindo o uso direto dos recursos naturais; e, o de Uso Sustentável (US) - que admite o uso direto dos recursos da UC de forma controlada (BRASIL, 2000, art. 7). Todavia, a concentração do transporte no modal rodoviário faz com que a maior parte das UC brasileiras fiquem circunscritas ou sejam influenciadas por faixas de rodagem de veículos (IBGE, 2014). A amplitude dos traços que

segmentam a paisagem evidencia a exposição dos territórios preservados aos impactos negativos dos segmentos rodoviários brasileiros e, portanto, ainda que seja uma estratégia que já demonstra efetividade, a demarcação com o objetivo de proteger os espaços nativos não impede a exposição dos seus recursos ambientais aos impactos das rodovias (SANTOS; CHEREM, 2023, p. 2; JACKSON; FAHRIG, 2011, p. 5).

A constante demanda por novas conexões e o adensamento contínuo das estruturas rodoviárias sobre a extensão dos principais conjuntos ecossistêmicos brasileiros são justificados pela relevância estratégica das vias de escoamento de produtos provenientes da agropecuária e pela necessidade de conexão entre as metrópoles brasileiras com alta significância econômica, social e política - como Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo (IBGE, 2014).

O Distrito Federal (DF), território que sedia Brasília, está inserido na extensão do Cerrado brasileiro. O bioma teve sua importância subestimada no que diz respeito às políticas de conservação e a construção da capital do Brasil, na região central do país, intensificou os processos de descaracterização de ambientes naturais, que foram transformados em áreas urbanas, pastagens e plantações (STRASSBURG, 2017, p. 1).

A velocidade com que o bioma vem sendo alterado e a sua relevância ecológica fizeram com que os seus ambientes nativos fossem classificados como áreas prioritárias para a conservação (MYERS *et al.*, 2000, p. 854). As premissas são relevantes e suficientes para embasar argumentos que justificam a criação de UC no DF e, hoje, segundo os dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA), o quadrilátero conta com 35 UC federais ou distritais (BRASIL, 2019). Dentre essas, 11 são pertencentes ao grupo de Proteção Integral (UCPI; BRASIL, 2019). Porém, a maior parte das UC do DF possuem trechos rodoviários próximos ao seu perímetro territorial e os efeitos negativos alusivos à operação das autoestradas sobre os habitats podem interferir no caráter preventivo das reservas (BRASIL, 2019).

Durante a operação das vias próximas às UC, os efeitos ecológicos são intensificados pela emissão de ruídos, de gases provenientes da queima de combustíveis, pela remoção de estoques de fauna por atropelamentos, pela incidência de luz artificial no período noturno, entre outros (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015, p.5). Para avaliar os impactos e o grau de vulnerabilidade dos ambientes nativos expostos, é importante espacializar os limites e definir a área de abrangência dos efeitos ecológicos associados ao empreendimento linear.

### 3.1.1. Dimensão Espacial das Zonas de Efeito Rodoviário sobre as UCPI do DF

Brasília é uma metrópole com importância não apenas econômica e social, mas também política, cujas influências ultrapassam a delimitação geográfica do quadrilátero que a sedia e chegam a todos os estados do país. A cidade representa, ainda, o núcleo central da metrópole e tem forte ação sobre as regiões periféricas: suas influências socioeconômicas expandem-se por uma área conhecida como Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE - DF). Estas características fazem com que o fluxo de veículos que entram e saem da cidade seja constante. Em 2010, por exemplo, mais de 1/3 da população total que ocupava a RIDE-DF e entorno realizou o movimento pendular para o trabalho na capital (MOURA; DELGADO, 2016, p. 11). Tal fato indica uma possível intensificação na demanda, no fluxo e no volume de tráfego em rodovias que influenciam as UCPI do DF.

A qualidade restritiva das UCPI surge da intenção de resguardar os ecossistemas livres das mudanças causadas pela interação humana (BRASIL, 2000). Mas os efeitos ecológicos associados às rodovias ampliam-se por uma área que se origina no traçado viário e que se expande, de forma variável, a depender das características estruturais e funcionais da via, além das particularidades do próprio ambiente natural afetado (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015, p. 7).

As áreas ecologicamente afetadas pelos empreendimentos lineares - definidas na literatura como a Zona de Efeito do Rodoviário (ZER) - já vêm sendo estimadas desde a última década do século XX (REIJNEN *et al*, 1995, p. 187). Na formulação de estudos que visam quantificar as ZER, os autores comumente baseiam-se na medição das áreas que abrangem as alterações da composição das comunidades, ou na abundância de populações nativas, em relação à proximidade da via (FORMAN *et al.*, 2003, p. 273). Para além das métricas que dimensionam as alterações na distribuição da biota, a estimativa do ruído de tráfego também pode ser avaliada para definir as Zonas de Efeito do Ruído Viário (ZERV), já que dá informações relevantes e necessárias à medição da área afetada pelas rodovias em operação.

A parcela territorial exposta aos efeitos sonoros dos trechos rodoviários influentes pode ser delimitada espacialmente com a simulação dos ruídos gerados pelo tráfego de veículos, já que, a depender da intensidade do som, os ruídos rodoviários possuem área de propagação limitada e que pode ser definida espacialmente (MAMADI *et al.*, 2017, 153). Mas as métricas máximas dos níveis de pressão sonora gerados devem ser definidas de acordo com

levantamentos empíricos que atestam os níveis críticos capazes de afetar a composição da biota nas ZERV. Estudos indicam que os índices de diversidade de mamíferos costumam diminuir à medida que a área analisada se aproxima de rodovias (BISSONETTE; ROSA, 2009, p. 6).

Rodovias com volume de tráfego superior a 1000 veículos por dia, além de gerarem distúrbios sonoros significativos aos ambientes próximos, também modificam a zona influenciada com os efeitos da fragmentação sobre os ambientes resguardados (MAMADI et al., p. 148). É importante, portanto, avaliar o nível deste impacto em ambientes protegidos na ZERV.

### **3.1.2. Fragmentação dos habitats afetados por rodovias**

A área da ZERV sofre os impactos tanto da mudança na composição das espécies presentes nos habitat próximos ao traçado viário - efeito de borda, como também, da aversão às alterações ambientais intensificadas pela constante emissão de ruídos sonoros e pela obstrução da conexão entre os ambientes nativos provocada pelo tráfego de veículos - efeito barreira (ROMANO, 2002, p. 17). Esses efeitos são significativos em UC delimitadas ou segmentadas por rodovias e derivam tanto da fragmentação estrutural - na supressão da vegetação original para construir a rodovia, por exemplo - quanto pela fragmentação funcional - como nas alterações microclimáticas dos ambientes rodoviários promovidas pela operação das vias (MAMADI *et al.*, 2017 p. 150). Tais impactos podem influir diretamente na eficácia das medidas conservacionistas visadas pela UC, diminuindo assim, a área de proteção efetiva da unidade, provocando o isolamento e intensificando os danos associados às pequenas populações (VAN DER REE; SMITH; GRILO, 2015, p. 4).

O grau de vulnerabilidade dos habitats afetados pelo potencial degradante e obstrutivo da secção promovida por rodovias poderá ser medido a partir da avaliação do índice de Fragmentação da Infraestrutura Rodoviária (IFI) nas áreas de sobreposição entre as UCPI do DF e a ZERV dos ruídos sonoros (ROMANO, 2002, p. 17).

O contraste entre a contínua expansão das redes de transporte rodoviário e a conservação de áreas com relevância ecológica - comuns no território brasileiro e imprescindíveis à manutenção da dinâmica dos sistemas naturais - evidencia a importância de estudos que visem compreender e dimensionar os impactos negativos das estruturas rodoviárias sobre os ambientes autóctones. No DF, a espacialização das ZERV em UCPI mostra-se relevante, pois



evidencia as áreas sensíveis aos processos danosos que ultrapassam os limites resguardados das categorias de UC mais restritivas, proporcionando informações relevantes à elaboração de ações protetivas específicas que sejam eficientes e adaptáveis à crescente demanda pelo transporte rodoviário na cidade. Sendo assim, o presente estudo visa espacializar a ZERV gerada pela emissão do ruído de tráfego nas UCPI do DF e estimar o nível de fragmentação associada à operação das rodovias nas áreas de sobreposição entre as ZERV e a extensão das UC avaliadas.

### **3.1.3. Objetivos específicos**

- Estimar os níveis de intensidade sonora emitidos em cada trecho rodoviário com volume médio diário de tráfego superior a 1000 veículos e que influencia as UCPI do DF;
- calcular a atenuação do ruído de tráfego com a distância em cada trecho estudado;
- medir a ZERV nas UCPI do DF; e,
- avaliar o grau de vulnerabilidade das feições vegetais na sobreposição das áreas das UCPI e a ZERV.

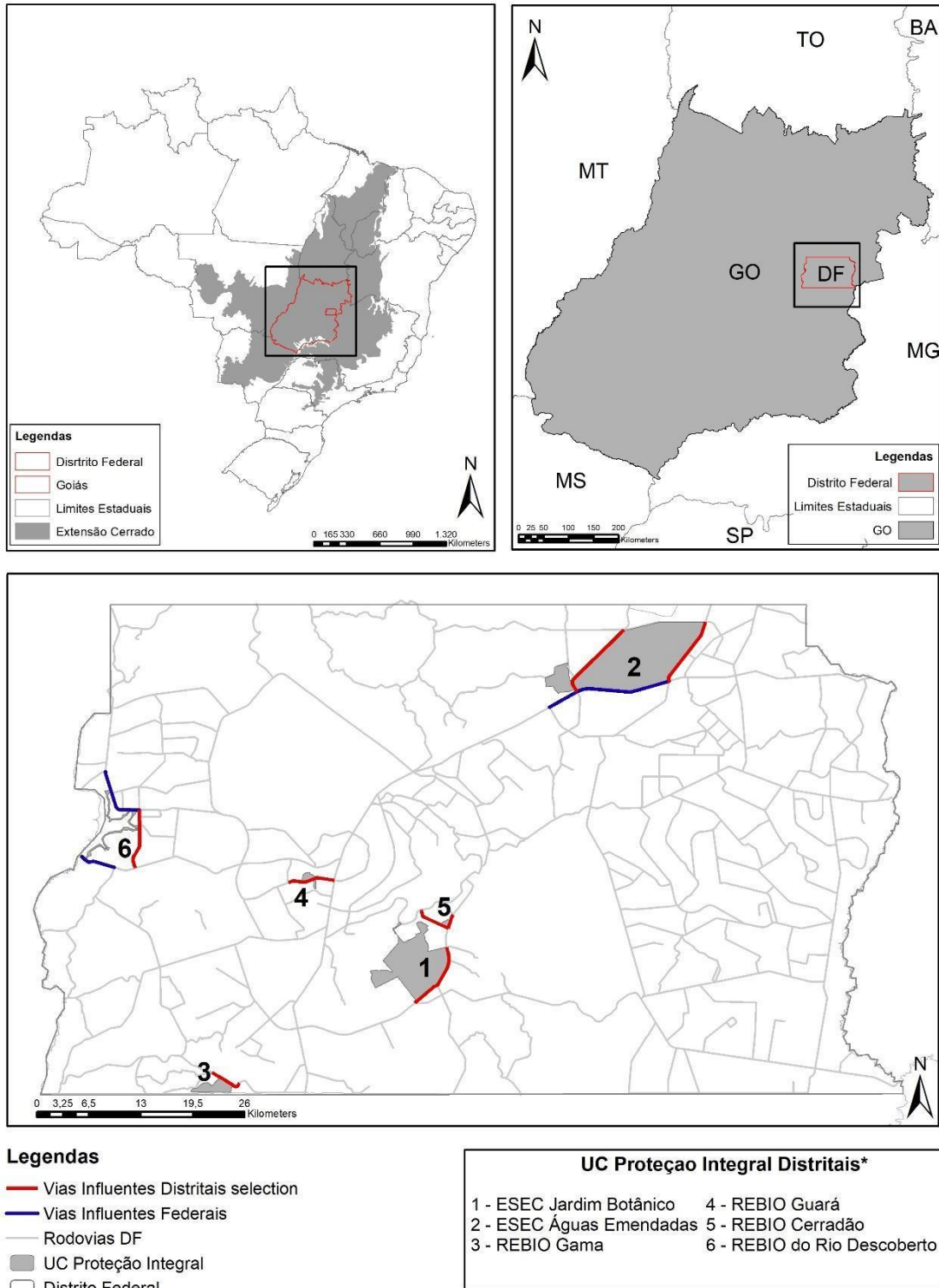
## **3.2. Procedimentos Metodológicos**

### **3.2.1. Área de Estudo**

No presente trabalho, serão analisados os trechos rodoviários próximos aos limites espaciais que definem seis das 11 UCPI do DF: Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE); Estação Ecológica do Jardim Botânico (ESECJB); Reserva Biológica do Guará (REBIOGUARÁ); Reserva Biológica do Gama (REBIOGAMA); Reserva Biológica do Cerradão (REBIOCER); e, Reserva Biológica do Rio Descoberto (REBIORD; BRASIL, 2019). As UCPI avaliadas e os trechos rodoviários influentes, pertencentes a rodovias distritais e federais com volumes de tráfego diário (VMD) superiores a 1000 veículos, estão ilustrados na Figura 1c.

# Mapa de Localização

## UCPI\* no DF e Segmentos Rodoviários Influentes



**Figura 1c:** Mapa de localização da UCPI distritais e dos trechos rodoviários avaliados. Apenas as UCPI estudadas estão representadas (BRASIL, 2019; DER-DF, 2018).

Os efeitos ecológicos sobre o meio influenciado não são significativos quando é baixo o montante de veículos que trafegam na rodovia (SELVA *et al.*, 2015). Portanto, vias internas, em entrequadras ou de ligação, foram desconsideradas e apenas as ZERV em UCPI influenciadas por trechos pertencentes às rodovias distritais ou federais com VMD superiores à 1000 veículos foram avaliadas. Portanto, conforme a Figura 1c, nem todas as vias que estão próximas aos limites das UCPI foram analisadas.

As informações sobre os volumes de tráfego diário e das características físicas dos traçados viários selecionados para o estudo - como o tipo de revestimento ou a declividade - foram extraídas do relatório anual do Sistema Rodoviário do DF (SRDF), elaborado pelo Departamento de Estradas e Rodagem do DF (DER-DF), e do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura no Transporte (DNIT; DER, 2018; DNIT, 2019).

Os segmentos das rodovias federais ou distritais selecionados para a análise e as UCPI influenciadas por cada trecho estão descritos na Tabela 1c.

**Tabela 1c:** Relação das UCPI avaliadas e dos trechos rodoviários influentes (BRASIL, 2019; DER, 2018; DNIT, 2019).

| UCPI              | RODOVIAS         | CÓDIGO TRECHO | EXTENSÃO (KM) | VMD        |        |
|-------------------|------------------|---------------|---------------|------------|--------|
| <b>ESECAE</b>     | BR - 010         | 010BDF0020    | 3,80          | 9149       |        |
|                   |                  | 010BDF0030    | 8,00          | 8094       |        |
|                   |                  | 010BDF0022    | 3,00          | 8094       |        |
|                   | DF - 128         | 128EDF0030    | 8,40          | 12016      |        |
|                   |                  | 128EDF0050    | 2,00          | 12016      |        |
|                   |                  | DF - 345      | 345EDF0030    | 4,60       | 2295   |
|                   | 345EDF0050       |               | 4,10          | 2011       |        |
|                   | <b>ESECJB</b>    |               | DF - 001      | 001EDF0130 | 2,40   |
|                   |                  | 001EDF0150    |               | 1,60       | 21700  |
| 001EDF0170        |                  | 3,50          |               | 16797      |        |
| 001EDF0190        |                  | 3,60          |               | 4781       |        |
| DF - 025          |                  | 025EDF0070    | 7,20          | 44301      |        |
| DF - 035          |                  | 035EDF0010    | 4,20          | 23442      |        |
| <b>REBIORD</b>    |                  | BR - 070      | 070BDF0050    | 4,00       | 9292   |
|                   |                  |               | BR - 251      | 080BDF0030 | 4,70   |
|                   | 080BDF0032       | 2,80          |               | 2812       |        |
|                   | DF - 180         | 180EDF0190    |               | 0,90       | 7459   |
|                   |                  | 180EDF0210    | 0,90          | 7459       |        |
|                   |                  | 180EDF0230    | 5,80          | 7459       |        |
|                   | <b>REBIOCER</b>  | DF - 001      | 001EDF0116    | 1,80       | 44002  |
| DF - 035          |                  |               | 035EDF0010    | 4,20       | 23442  |
| <b>REBIOGUARÁ</b> |                  | DF - 085      | 085EDF0010    | 5,80       | 138757 |
|                   | <b>REBIOGAMA</b> |               | DF - 290      | 290EDF0070 | 1,50   |
| 290EDF0080        |                  | 2,50          |               | 17103      |        |

### 3.2.2. Estimativa da Zona de Efeito do Ruído Viário (ZERV)

Para a definição da extensão das ZERV sobre as UCPI do DF, foram consideradas as áreas por onde se propagam os ruídos sonoros do tráfego de veículos. Para tanto, inicialmente, é necessário estimar o nível estatístico que define a intensidade do ruído emitido de forma contínua na rodovia e que seja equivalente ao som produzido com o filtro de frequências na ponderação A durante um dado período (IBRAM, 2019).

#### 3.2.2.1. Estimativa do ruído de tráfego rodoviário

O presente artigo faz o uso de uma abordagem simplificada para o mapeamento do som a partir da modelagem dos níveis de ruído de tráfego na ferramenta de uso livre *NoiseModelling* (v.4.0). Nela, as estimativas da emissão e da propagação dos ruídos provenientes das rodovias estudadas seguem as metodologias de cálculo introduzidas na diretiva (UE) 2015/996, em um conjunto de métodos denominados CNOSSOS-EU (Common Noise Assessment Methods in Europe). Os cálculos definem a intensidade média de acordo com o volume de tráfego em cada segmento rodoviário e estimam o nível estatístico de pressão sonora  $L_{Aeq}$  medido em decibéis (BISSONETTE; ROSA, 2009).

A intensidade do som propagado varia de acordo com: o número e o tipo de veículos que transitam no segmento viário em um espaço de tempo; as características físicas do trecho rodoviário - como o tipo de revestimento ou a declividade; e, a velocidade média de tráfego (ATTENBOROUGH; LI; HOROSHENKOV, 2006). O parâmetro auferido deve, portanto, ser ajustado para corrigir os erros inerentes às variações associadas às diferentes características de cada traçado. No CNOSSOS-EU, o  $L_{Aeq}$  é estimado a partir da medição do nível de pressão básico emitido em intervalos de hora, somando-se a ele os índices de correção (Eq. 1; CNOSSOS-EU, 2015, p. 4):

$$L_{Aeq,LT} = 10 \times \lg \sum_{i=1} 10^{\frac{Leq,T_i + A_i}{10}} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo,

$A_i$ : a correção do nível de pressão sonora com o filtro de frequências na ponderação A;

$i$ : a frequência indexada da banda;

$T$ : o turno correspondente à medição;

$L_p$ : o nível instantâneo de pressão sonora;

$L_{Aeq,T}$ : Nível global sonoro equivalente e contínuo em todas as fontes;

### 3.2.2.2. Atenuação do Ruído de Tráfego com a Distância

Para estimar a distância de propagação das ondas sonoras, os trechos rodoviários estudados foram considerados como fontes lineares de propagação. Já que a fonte sonora dos segmentos rodoviários está em movimento, a energia do som emitido em estradas e em rodovias é irradiada em formato semicilíndrico. De posse do nível do ruído propagado pela rede viária, a atenuação da energia irradiada por uma fonte linear dependerá da distância entre a fonte do ruído e o receptor. A perda energética nos níveis de pressão ocorre na medida em que os raios das ondas de emissão sonora se ampliam. Em fontes contínuas, a diferença do nível de pressão sonora entre dois pontos pode ser expressa por (Eq. 2):

$$NPS_r - NPS_R = 10 \log \log \left( \frac{R}{r} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

sendo:

$NPS_r$ : nível de pressão sonora à distância  $r$ ;

$NPS_R$ : nível de pressão sonora à distância  $R$  da fonte;

$r$ : raio de medição entre a fonte e o receptor;

$R$ : raio de medição propagado.

Na equação 3, surge uma situação especial. Se  $2r=R$ , então (Eq. 3):

$$NPS_r - NPS_R = 20 \log \log \left( \frac{2r}{r} \right) = 20 \log \log (2) \quad \text{Eq. 3}$$

$$NPS_r = NPS_R - 3dB (A)$$

Portanto, cada vez que a distância de medida de raio da fonte (r) dobrar, a atenuação do nível de pressão será da ordem de 3 dB(A).

Aqui, as medidas da distância necessária para a atenuação completa dos níveis de ruído de tráfego já estimados em cada trecho rodoviário foram tomadas como o raio da extensão da ZERV. As áreas de sobreposição entre as UCPI-DF e as ZERV foram medidas para que a área de influência rodoviária em cada e em todas as UC fosse calculada.

Os níveis de intensidade sonora medidos em cada trecho rodoviário foram distribuídos em classes para melhor visualização e análise da área de impacto, as informações foram plotadas em mapas vetoriais.

### 3.2.2.3. Índice de Fragmentação em ambiente rodoviário

O nível de vulnerabilidade dos habitat das UCPI do DF que estão inseridos nas ZER foi calculado a partir da obtenção do Índice de Fragmentação em Infraestrutura (IFI; ROMANO, 2002, p.17). Originalmente, a medição do IFI foi criada com o intuito de tipificar as características dos impactos associados ao processo de ocupação do solo e de classificar a paisagem exposta aos efeitos da fragmentação. No presente estudo, busca-se relacionar, em nível comparativo, o grau de vulnerabilidade e de obstrução gerada pelo ambiente rodoviário às UCPI com as características que qualificam os ambientes afetados de acordo com a Fragmentação Estrutural, medida pelo índice (Eq. 5).

$$IFI = \frac{\left( \sum_{i=1}^{i=n} L_i * O_i \right) * N * Pt}{At} \quad \text{Eq.5}$$

em que:

$L_i$ : O comprimento da rodovia (excluídos túneis e viadutos);

$O_i$ : Coeficiente de Obstrução, dependente da fluidez do tráfego e do tipo de rodovia;

*N*: Número de partes que o território de referência foi fragmentado pela via;

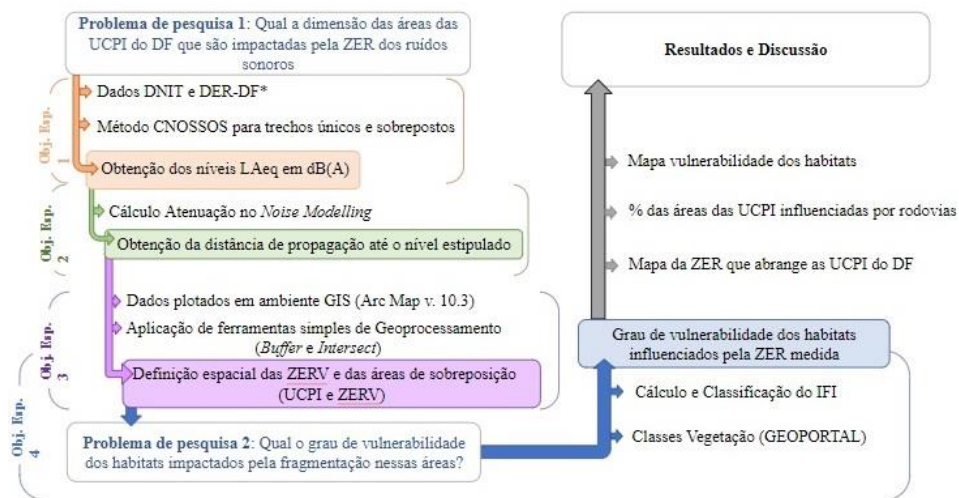
*At*: Área da unidade territorial de referência;

*Pt*: perímetro da unidade territorial.

Para a avaliação do nível de fragmentação e de obstrução gerado pelas faixas de rodagem de veículos, o cálculo do IFI considera os diferentes tipos de infraestrutura do transporte terrestre - como rodovias, trilhos, vias vicinais ou vias de ligação - e os atributos da paisagem afetada. Para a análise, a definição dos atributos da paisagem seguiu a classificação do mapa de vegetação produzido pela Secretaria do Estados de Desenvolvimento Urbano e Habitação do DF (SEDUH) e disponibilizado na plataforma GEOPORTAL: Queimada; Área Construída; Nuvem; Formação Savânica; Formação Campestre; Formação Florestal; Solo exposto; Sistema Viário; e, Agricultura (DISTRITO FEDERAL, 2019). As informações sobre as características das vias avaliadas foram disponibilizadas pelo DER-DF, como nem todas as informações foram fornecidas, os dados faltantes foram obtidos no Relatório do Sistema Rodoviário do Distrito Federal, produzido pelo DER-DF (DER-2018).

O IFI de cada feição será calculado nas áreas de sobreposição entre a ZERV dos trechos rodoviários influentes e a UCPI. A escala de valores dos IFI auferidos serão classificados em cinco níveis de vulnerabilidade: baixo, ligeiramente baixo, médio, alto e muito alto.

### 3.3. Fluxograma dos procedimentos metodológicos



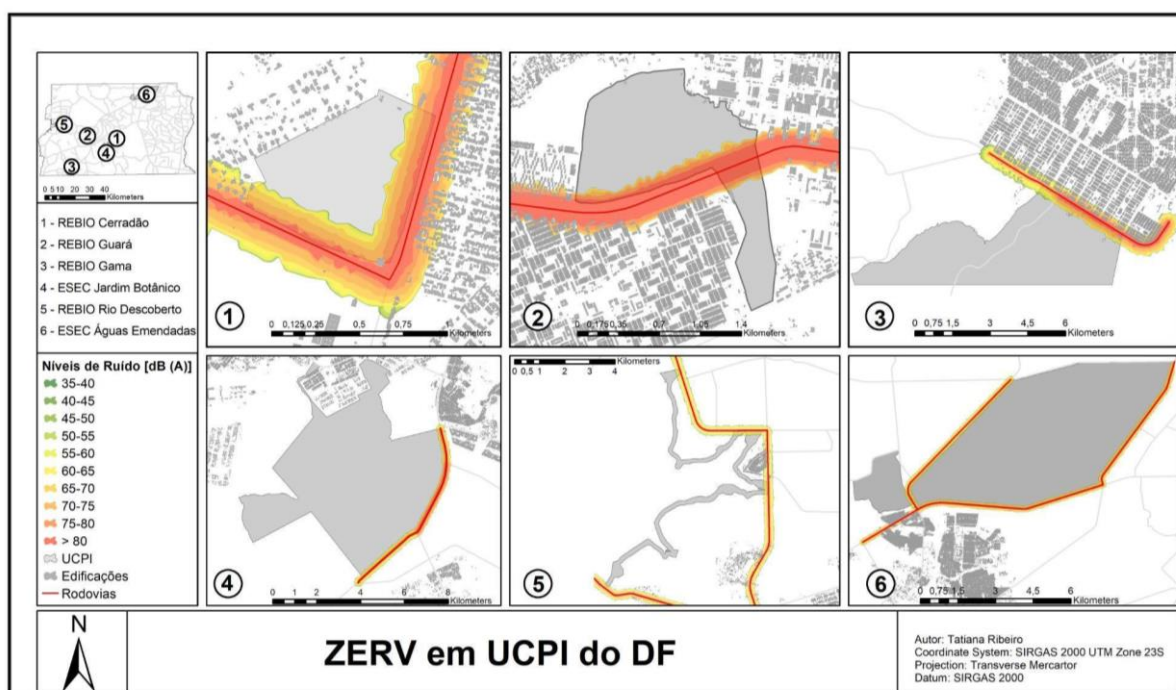


### 3.4. Resultados e Discussão

#### 3.4.1. Níveis de Pressão Sonora e definição das ZERV

As intensidades sonoras medidas em cada trecho rodoviário foram calculadas e distribuídas em dez classes diferentes. A atenuação sonora está representada na variação de tonalidades entre os níveis superiores (tons avermelhados) e níveis inferiores (tons esverdeados) de ruído rodoviário.

O cálculo dos níveis de pressão sonora permitiu a espacialização das áreas das UCPI expostas ao ruído de tráfego (Figura 2c).



**Figura 2c:** Espacialização das ZERV nas seis unidades de conservação avaliadas. As dimensões das UCPI são distintas, portanto os mapas estão representados em diferentes escalas.

De acordo com a legislação pertinente, em ambientes externos, referentes às áreas das UCPI, são permitidas intensidades entre 40 e 70 dB(A) (ABNT, 2000, p.3). Porém, conforme observado, as REBIO GAMA, GUARÁ e CERRADÃO estão expostas a níveis sonoros superiores em suas áreas.

Os resultados indicam que em todos os trechos avaliados a extensão das ZERV compreende espaços lineares cujos raios não ultrapassem 240 m além da rodovia. Em UC extensas, como a ESECAE, a área afetada não é representativa. Porém, em UCPI como a

REBIOGUARÁ e REBIOCER, cujas áreas não chegam aos 5 km<sup>2</sup>, a cobertura da ZERV compreende porções significativas das reservas. As proporções das áreas afetadas por cada nível de ruído sonoro estão descritas na tabela 2c.

Tabela 2c: Áreas estimadas de atenuação do ruído rodoviário em km<sup>2</sup> por nível de intensidade sonora [dB(A)] em UCPI (%).

| <b>Áreas de Efeito - Ruído Rodoviário nas UCPI (%)</b> |                                     |              |              |              |              |               |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| <b>UCPI</b>                                            | <b>Níveis de intensidade dB (A)</b> |              |              |              |              |               |
|                                                        | <b>&gt;80</b>                       | <b>80-70</b> | <b>70-60</b> | <b>60-50</b> | <b>50-35</b> | <b>&lt;35</b> |
| <b>ESEC Águas Emendadas</b>                            | 0,3                                 | 1,6          | 1,9          | 0,5          | 0,1          | 95,5          |
| <b>ESEC Jardim Botânico</b>                            | 0,0                                 | 0,7          | 0,9          | 0,3          | 0,0          | 98,1          |
| <b>REBIO Cerradão</b>                                  | 4,5                                 | 19,8         | 11,7         | 2,0          | 0,2          | 61,8          |
| <b>REBIO Guará</b>                                     | 8,8                                 | 7,0          | 1,5          | 0,2          | 0,0          | 82,5          |
| <b>REBIO Gama</b>                                      | 2,4                                 | 3,2          | 2,0          | 0,5          | 0,1          | 91,8          |
| <b>REBIO do Rio Descoberto</b>                         | 0,5                                 | 2,1          | 3,8          | 1,6          | 0,2          | 91,7          |

Dentre as categorias do grupo de UCPI, as Reservas Biológicas e as Estações Ecológicas possuem o caráter legal mais restritivo, já que visam preservar a biota e os atributos naturais das reservas sem que haja interferência humana direta ou qualquer modificação distinta das medidas de recuperação ou do manejo adequado de suas áreas (DISTRITO FEDERAL, 2010, ART.10).

Quando inseridas em ambientes urbanos, porém, as características ambientais a que a biota está exposta podem ser alteradas por dinâmicas urbanas externas à área da reserva. Conforme os dados apresentados na tabela 2c, verifica-se que mais de um terço da REBIOCER (38,2 %) está dentro do espectro de atenuação do ruído sonoro rodoviário. Cerca de 36% da área da reserva está exposta a níveis de intensidade sonora superiores a 60 decibéis na ponderação A. Já na REBIOGUARÁ, nota-se que cerca de 17% da reserva está dentro da ZESV e que 15,8 % da exposição se dá por níveis de pressão iguais ou superiores a 70 dB (A).

Ainda que os níveis sejam considerados toleráveis em boa parte da ZESV medida, é importante salientar que a legislação se baseia no grau de tolerância do ouvido humano, em que níveis de pressão sonora entre 80 e 90 dB(A) estão dentro do limiar considerado lesivo caso a exposição seja contínua (DISTRITO FEDERAL, 2008, Anexo III). Mas, os efeitos dos ruídos sonoros não são exclusivos da espécie humana e estendem-se à fauna exposta aos ambientes próximos a rodovias ruidosas. A adaptação ou a aversão aos ruídos de tráfego por parte da biota

tem, portanto, implicações para a conservação de espécies em espaços resguardados (FORMAN et al., 2003, p. 271).

Devido à biodiversidade expressiva do Cerrado, ainda não está clara a dimensão do impacto do ruído de tráfego no comportamento das espécies nativas (MC GREGOR et al., 2013, p. 2). Em relação à interferência sonora no comportamento das espécies, três possíveis respostas devem ser consideradas: aversão, tolerância ou atração às zonas de influência do ruído viário (FORMAN et al., 2003, p. 273).

Mesmo que existam, em alguns grupos, evidências de uma possível tolerância superior ao ouvido humano em ambientes ruidosos (HEFFNER; HEFFNER, 2007, p. 22), certos vertebrados pertencentes às classes das aves, dos anfíbios e dos mamíferos podem sofrer efeitos sociais ou mesmo reprodutivos, graças à dependência da vocalização e da estrutura acústica do canto no comportamento (SIMMONS; NARINS, 2018, p. 180).

Mudanças no padrão da vocalização de anfíbios (*Boana bischoffi* e *B. leptolineata*) já foram detectadas em ambientes expostos a níveis de pressão sonora entre 65 e 75 dB(A), com alterações na frequência do canto quando os indivíduos estão próximos à fonte do ruído. Além dos ajustes nos sons emitidos, a movimentação dos animais para locais mais distantes da fonte ruidosa também foi observada (CAORSI et al., 2017, p. 9).

As informações apresentadas na tabela 2c mostram que a REBIOGUARA é a UCPI com a maior área de exposição a níveis de pressão sonora superiores a 80 dB(A) (8,8%). Além disso, cerca de 72% das espécies pertencentes aos anfíbios registradas na UC utilizam sítios de vocalização em áreas abertas (LIMA et al., 2014, p. 277). As variações nas intensidades sonoras da vocalização desses grupos podem gerar interferências em eventos reprodutivos devido a perdas na densidade populacional causadas pela aversão ao ambiente rodoviário ou mesmo às confusões na escolha de parceiros em decorrência do não reconhecimento do canto em ambientes ruidosos (CAORSI et al., 2017, p. 9)

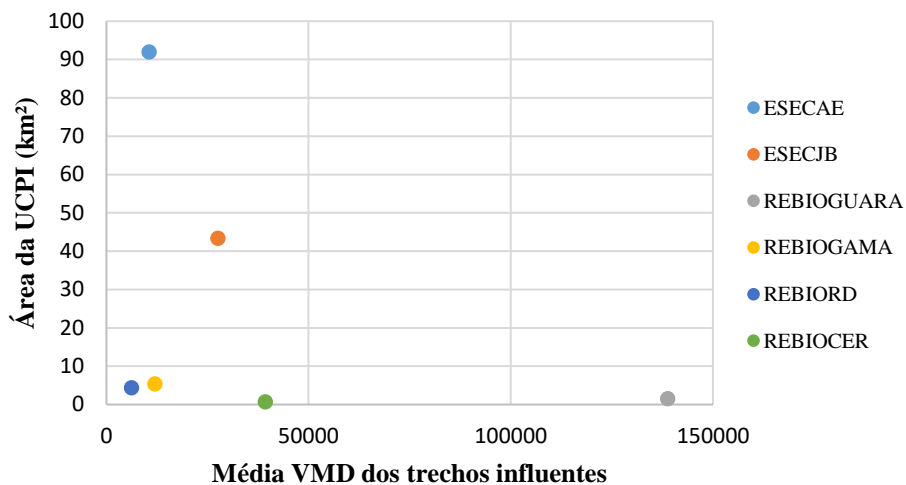
Tais informações indicam, portanto, que os níveis de poluição sonora gerados pelo ruído de tráfego podem impactar a diversidade de anfíbios na REBIO, caso os ajustes nos cantos ou a movimentação dos animais relacionados ao ruído rodoviário interfiram nas taxas reprodutivas ao ponto de causar o declínio das populações. A mesma argumentação estende-se às demais UC, principalmente à REBIOCER, já que a ZERV compreende parcela representativa da reserva (tabela 2c; figura 2c)

A diversidade de espécies é também uma variável importante a ser considerada quando os efeitos dos ruídos de tráfego são analisados, uma vez que a vocalização varia de acordo com o táxon avaliado. Cerca de 1970 espécies reconhecidas no Brasil fazem parte da classe das aves (PACHECO et al., 2021, p. 4). O grupo está presente em habitat altamente alterados e com grande interação humana. O aumento da abundância e da riqueza de aves que habitam áreas de savana já foram positivamente relacionados à distância de rodovias (SILVA et al., 2017, p. 122). Ainda que níveis de pressão sonora ponderados em “A” não sejam apropriados para a avaliação do impacto acústico nesse grupo, maiores intensidades sonoras de canto em espécies mais tolerantes também foram associadas à presença de ambientes rodoviários (CAVALCANTE, 2009, p. 113).

Já que a aversão ao ruído sonoro pode ser relacionada ao grau de tolerância à ZERV, nem todas as espécies nativas têm sua distribuição afetada pelos diferentes níveis de pressão sonora em rodovias: as mudanças na composição e na estrutura de comunidades que vivem nas imediações de segmentos rodoviários podem, por exemplo, implicar na diminuição da predação de ninhos, graças à aversão de predadores ao ruído do sistema viário (SILVA et al., 2018, p. 7405). Ainda que, neste caso, a ZERV culmine no benefício de algumas espécies nativas, é importante salientar que a vantagem reprodutiva pode gerar a seleção de alguns grupos e, assim, causar o desequilíbrio ecológico das comunidades em UCPI (SILVA et al., 2017, p.123).

As mudanças na composição e na inter-relação das espécies devido à poluição sonora ampliam o nível de vulnerabilidade dos habitat das UCPI. Os limites das reservas possuem o maior grau de exposição aos efeitos danosos que modificam a composição da biota em suas margens. UC pequenas possuem pouco espaço para a absorção dos danos e, por isso, são mais suscetíveis aos efeitos de borda. A ZERV está positivamente relacionada à intensidade do volume de tráfego das rodovias próximas aos ambientes afetados. A figura 3c evidencia a relação entre os volumes de tráfego nos trechos rodoviários influentes e as áreas de extensão de cada UCPI.

### Volumes de tráfego e Extensões das UCPI



**Figura 3c:** Relação entre a média aritmética dos volumes médios diários de tráfego de veículos nas vias influentes (VMD) e a área de extensão (km<sup>2</sup>) de cada UCPI avaliada.

As informações apresentadas permitem concluir que as UCPI REBIOGUARA e REBIOCER são reservas pequenas próximas a segmentos rodoviários com volumes intensos de tráfego de veículos (138.757 e 67.444, respectivamente). Infere-se, portanto, que os efeitos das ZERV sobre a composição e a distribuição da biota que habita essas UCPI são representativos. É importante, assim, avaliar se há e qual é o nível de fragmentação e de obstrução gerados pelas faixas de rodagem de veículos nos habitat das UCPI afetadas.

### 3.4.2. Índices de Fragmentação em ZERV

Sabe-se que a composição e a distribuição da fauna estão intimamente relacionadas aos diferentes habitat. É relevante, portanto, avaliar os atributos espaciais que compõem a paisagem exposta à poluição acústica ambiental e o potencial da degradação associada à fragmentação dos habitat expostos aos ruídos rodoviários. Na tabela 3c estão representadas as áreas das ZERV sobrepostas à classificação dos atributos da paisagem no DF (GEOPORTAL, 2019).

**Tabela 3c:** Classificação dos atributos da paisagem nas ZERV.

| NPS > 60 dB(A)        | Classificação ZERV |             |              |              |             |             |
|-----------------------|--------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
|                       | Classes            | Área (%)    |              |              |             |             |
|                       | ESECAE             | ESECJB      | REBIOCER     | REBIOGUARA   | REBIOGAMA   | REBIORD     |
| Agricultura           | 0,04               | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00        | 1,04        |
| Água                  | 0,00               | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00        | 0,00        |
| Área construída       | 0,04               | 0,00        | 1,73         | 1,10         | 2,23        | 0,07        |
| Formação Campestre    | 0,56               | 0,22        | 0,93         | 0,90         | 3,18        | 1,37        |
| Formação Florestal    | 0,19               | 0,04        | 16,36        | 4,68         | 0,41        | 1,65        |
| Formação Savânica     | 2,71               | 1,17        | 15,90        | 9,36         | 0,90        | 2,28        |
| Queimada              | 0,00               | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00        | 0,01        |
| Sistema Viário        | 0,00               | 0,00        | 0,02         | 1,23         | 0,64        | 0,01        |
| Solo exposto          | 0,34               | 0,23        | 1,05         | 0,00         | 0,21        | 0,00        |
| <b>ZERV na UC (%)</b> | <b>3,89</b>        | <b>1,65</b> | <b>36,00</b> | <b>17,27</b> | <b>7,57</b> | <b>6,43</b> |

A classificação define três tipos de formações nativas predominantes na extensão do bioma: Campestre (FC); Florestal (FF); e, Savânica (FS). Os dados evidenciam que as UC com maiores parcelas nativas expostas às ZERV são a REBIOCER (cerca de 16% de FS e de FF) e a REBIOGUARA (FF = 4,7%; FS = 9,4%).

O predomínio da extensão da ZERV em ambientes nativos do Cerrado já é esperado em UCPI, mas informações sobre as fitofisionomias que compõem esses espaços dão o aporte necessário para considerar a heterogeneidade estrutural de ambientes e estimar as espécies da fauna cujas áreas de vida estão intimamente relacionadas às características físicas ambientais e de ocorrência exclusiva (MCGREGOR et al., 2013 p. 413).

Estudos realizados em campo na REBIOGUARÁ, estimaram que as FC e FS são as fitofisionomias mais representativas em número de espécies vegetais (LIMA et al., 2014 p.157). A heterogeneidade notada nos ambientes abertos (comuns em FC e FS) foi positivamente relacionada às riquezas de espécies da herpetofauna e da ornitofauna na UC (LIMA et al.,

p.269). Destaca-se que ambos os grupos possuem espécies que dependem das interações sonoras relacionadas às vocalizações para sobreviver.

Tais informações podem ser melhor avaliadas em modelagens de nicho para diferentes grupos taxonômicos, mas os dados em si indicam que a poluição acústica em ambas as UCPI é representativa e que deve ser considerada em estudos de impacto ambiental, na elaboração ou na atualização dos planos de manejo dessas reservas.

O cálculo do IFI permite averiguar o quão suscetíveis as UCPI estão à fragmentação de habitat associada à operação de rodovias (ROMANO, 2002, p. 17). A tabela 4c apresenta a relação de UCPI e o grau vulnerabilidade relativo aos segmentos rodoviários estudados.

**Tabela 4c:** Índices de Fragmentação de Infraestruturas em UCPI do DF.

| <b>IFI nas UCPI de Brasília - DF</b> |                |                        |
|--------------------------------------|----------------|------------------------|
| <b>UC</b>                            | <b>IFI</b>     | <b>Vulnerabilidade</b> |
| ESEC Águas Emendadas                 | 287,02         | Muito Baixa            |
| REBIO Cerradão                       | 729,34         | Muito Baixa            |
| REBIO Gama                           | 86,67          | Muito Baixa            |
| <b>REBIO Guará</b>                   | <b>5246,76</b> | <b>Muito Alta</b>      |
| REBIO do Rio Descoberto              | 849,07         | Baixa                  |
| ESEC Jardim Botânico                 | 395,53         | Muito Baixa            |

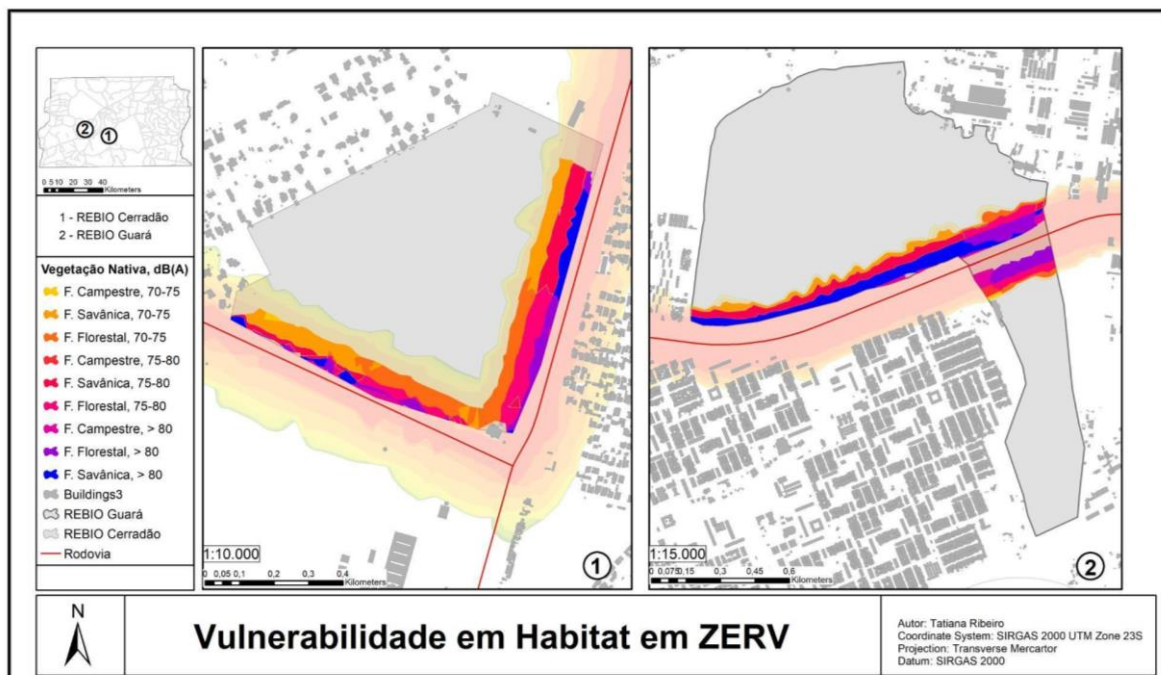
Apesar da expressividade observada nas ZERV na REBIOCER, o índice aferido na reserva indica que a vulnerabilidade à fragmentação dos habitat expostos aos efeitos dos ruídos rodoviários é considerada muito baixa. Ainda que a UCPI esteja exposta a níveis de pressão sonora considerados elevados para o ouvido humano, a sua extensão não chega a ser segmentada pelo traçado rodoviário. Portanto, a UCPI fica mais suscetível à degradação associada à possível intensificação do efeito de borda pela operação rodoviária - em decorrência das mudanças na distribuição e/ou no comportamento adaptativo de espécies aos ambientes ruidosos.

De outra forma, o IFI medido para a REBIOGUARÁ evidencia a alta vulnerabilidade da UCPI à fragmentação dos ambientes nativos expostos à operação do segmento viário influente. Apesar da evidente interferência da operação da rodovia DF-085, que divide a REBIO em dois fragmentos, o plano de manejo da UCPI aborda apenas os impactos relativos aos atropelamentos de fauna (LIMA et al., 2013, p. 271).

A remoção contínua de espécimes que colidem com veículos é também um impacto capaz de alterar a densidade e a composição de espécies ameaçadas, em populações pequenas ou isoladas (MOORE et al., 2023, p. 10). Para a mitigação desses impactos, inclusive, foram instalados alambrados nas porções norte e sul da DF-085 (LIMA et al., 2013 p. 361). Porém, os danos da aversão às alterações ambientais e da obstrução da conexão entre os ambientes nativos na ZERV também são capazes de isolar espécies intolerantes a partir do efeito barreira. Destaca-se, portanto, a importância de se considerar os efeitos da poluição sonora promovida pelo tráfego de veículos na elaboração de estratégias para a conservação da REBIOGUARÁ.

Caso negligenciada, a fragmentação funcional da UC pode diminuir a área de proteção efetiva da UCPI (PRIMACK; RODRIGUES, 2006, p. 99) provocando o isolamento e intensificando os danos associados às pequenas populações.

O grau de vulnerabilidade dos habitat afetados foi medido a partir da avaliação do Índice de Fragmentação da Infraestrutura Rodoviária (IFI) nas áreas de sobreposição entre as UCPI e as ZERV (ROMANO, 2002, p. 17). Salienta-se que apenas as UCPI com porções significativas de suas áreas sobrepostas às ZERV foram utilizadas. A partir do processamento das informações, foram produzidos mapas de vulnerabilidade apenas para níveis de pressão superiores a 70 dB(A) nas áreas de vegetação nativa das REBIOGUARÁ e REBIOCER. Os mapas estão representados na figura 4c.



**Figura 4c:** Mapas de sobreposição dos níveis de pressão do ruído rodoviário e áreas de vegetação nativa das REBIO Cerradão e Guará. As dimensões das UCPI são distintas, portanto os mapas estão representados em diferentes escalas.



Níveis de Ruído superiores aos 70 dB(A) já foram relacionados a comportamentos aversivos em diversos grupos de espécies autóctones (SILVA et al., 2017, p. 124; SIMMONS; NARINS, 2018, p. 185). Ademais, observa-se que os ambientes nativos das duas REBIO se distribuem de forma variada, fato que define a heterogeneidade das áreas resguardadas. Ambientes heterogêneos acomodam variados habitat e ampliam a diversidade de nichos. Indica-se, portanto, o levantamento de dados em campo para a averiguação dos índices de diversidade em espécies nativas, além da verificação de comportamentos aversivos, atrativos ou mesmo de tolerância à ZERV nas áreas destacadas.

Ainda que os efeitos da degradação associados ao isolamento das espécies sejam mais impactantes em UCPI pequenas, salienta-se que as categorias REBIO e ESEC são extremamente importantes no DF, mesmo que possuam extensões territoriais restritas (SANTOS; CHEREM, 2023, p. 12). A funcionalidade dessas UCPI em ambientes de elevada pressão urbana será mantida desde que sejam garantidas as conexões com outras áreas naturais próximas. Destaca-se que todas as seis UCPI avaliadas no presente estudo possuem vias de conexão com UC de outras categorias e que permitem o fluxo da fauna por entre as manchas de vegetação nativa. Porém, as REBIOGUARÁ e REBIOCER apresentam o risco de desconexão aos demais ambientes protegidos, graças ao adensamento urbano nas imediações das UC e à operação de rodovias com elevados volumes de tráfego. Sendo assim, a identificação de espécies sensíveis aos danos da exposição às ZERV dentro das UCPI é de suma importância para elaboração de ações protetivas nas UCPI.

### **3.5. Considerações Finais**

A operação do sistema viário brasileiro tem impactos diversos em ambientes autóctones. Os efeitos dos ruídos sonoros sobre o comportamento da fauna que habita ambientes resguardados nos regimes legais mais restritivos para a conservação no Brasil ainda são pouco conhecidos. Das seis UCPI avaliadas no DF, as REBIO Guará e Cerradão tiveram a maior parcela de suas áreas influenciadas por ZERV. Ambas as UCPI têm extensões inferiores a 5 km<sup>2</sup> e margens delimitadas por segmentos rodoviários com volumes médios diários de tráfego superiores a 60.000 veículos.

As medições das áreas de ZERV sobrepostas à classificação da paisagem evidenciam que a maior parte das UCPI afetadas correspondem às áreas de vegetação nativa do Cerrado cujas características já foram relacionadas à maior diversidade de espécies. Os resultados das medições do IFI indicam que o grau de vulnerabilidade à fragmentação dos habitat na REBIO Guará é considerado muito alto e, portanto, evidenciam a necessidade de uma análise mais profunda para melhor avaliar se a poluição acústica rodoviária na UCPI representa risco para as populações nativas habitantes em longo prazo.

Os mapas de vulnerabilidade de habitat evidenciam que as três formações nativas compõem ambientes heterogêneos nas duas UC expostas a níveis de pressão sonora superiores a 70 dB(A) nas ZERV. A sobreposição de ambientes autóctones a níveis de pressão sonora considerados elevados pode subsidiar a elaboração de estratégias objetivas para a identificação de impactos degradantes associados à poluição sonora nas UCPI do DF.

Conclui-se, portanto, que a poluição acústica da emissão de ruídos rodoviários nas REBIO Cerradão e Guará é representativa e que deve ser considerada em estudos de impacto ambiental, na elaboração ou na atualização dos planos de manejo em UCPI pequenas e próximas a rodovias movimentadas.

### 3.6. Bibliografia

- ABBOTT, P. G.; NELSON, P. M. Converting the UK traffic noise index LA10,18h to EU noise indices for noise mapping. **PROJECT REPORT PR/SE/451/02**. TRL Limited. 2002. 32p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. Rio de Janeiro. 2000.
- ATTENBOROUGH, K.; LI, K. M.; HOROSHENKOV, K. **Predicting Outdoor Sound**. CRC Press: London. 2006. 456 p.
- BAGATINI, T. **Evolução dos índices de atropelamento de vertebrados silvestres nas rodovias do entorno da Estação Ecológica Águas Emendadas, DF, Brasil, e eficácia de medidas mitigadoras**. 2006, 78 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, 2006.
- BARBER, C. P.; COCHRANE, M. A.; SOUZA, C. M.; LAURANCE, W. F. (2014). Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. **Biological Conservation**. 2014. 177, 203–209. doi: 10.1016/j.biocon.2014.07.004
- BENÍTEZ-LÓPEZ, A.; ALKEMADE, R.; Verweij, P. A. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. **Biological Conservation**. 2010. 143(6), 1307–1316. doi: 10.1016/j.biocon.2010.02.009.

- BISSONETTE, J. A.; ROSA, S. A. Road Zone Effects in Small-Mammal Communities. **Ecology and Society**. 2009. 14(1). doi:10.5751/es-02753-140127.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Lex:** Diário Oficial da União, de 2 de Fevereiro de 1981.
- BRASIL. Constituição, 1988. **Constituição: República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. Lei no. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Lex:** Diário Oficial da União, n. 138-E, seção 1, de 19 de Julho de 2000, p. 01-07.
- BRASIL. **Painel Unidades de Conservação Brasileiras**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMDNmZTA5Y2ItNmFkMy00Njk2LWI4YjYtZDJINzFkOGM5NWQ4IiwidCI6IjJmYjY2ZmE5LTNmOTMtNGJiMS05ODMwLTYzNDY3NTJmMDNINCIsImMiOiJF9> . Acessado em: 03/05/2019.
- CÁCERES, N. C. et al. Mammal occurrence and roadkill in two adjacent ecoregions (Atlantic Forrest and Cerrado) in south-western Brazil. **ZOOLOGIA**. [s. l.]: Sociedade Brasileira de Zoologia, v. 27, n. 5, October, 2010, p.709-717.
- CAORSI, V. Z.; BOTH, C; CECHIN, S.; ANTUNES, R.; BORGES-MARTINS, M. (2017) Effects of traffic noise on the calling behavior of two Neotropical hylid frogs. **PLoS ONE** 12(8): e0183342. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183342>.
- CAVALCANTE, K. V. S. M. **Avaliação Acústica Ambiental de Hábitats de Passeriformes Expostos à Ruídos Antrópicos em Minas Gerais e São Paulo** In: Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2009.
- CNOSSOS-EU. COMMISSION DIRECTIVE (EU) 2015/996. Official Journal of the European Union, 2015. Disponível em: [https://circabc.europa.eu/sd/a/9566c5b9-8607-4118-8427-906dab7632e2/Directive\\_2015\\_996\\_EN.pdfde](https://circabc.europa.eu/sd/a/9566c5b9-8607-4118-8427-906dab7632e2/Directive_2015_996_EN.pdfde). Acessado em: 20/06/2023.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de Rodovias 2018**. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/apresentacao> Acessado em 23 de maio de 2019.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Anuário do Transporte 2017: Principais Dados**. Disponível em: <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2017/Rodoviario/1-1-/Principais-dados>.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO DISTRITO FEDERAL (DER-DF). Sistema Rodoviário do Distrito Federal: 2018. Disponível em: <http://www.der.df.gov.br/sistema-rodoviario/> . Acessado em: 01/03/2019.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Plano Nacional de Contagem de Tráfego: Contagem Contínua. Disponível em: <http://servicos.dnit.gov.br/dadospnc/ContagemContinua> . Acessado em: 05/04/2019.
- DISTRITO FEDERAL. SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E HABITAÇÃO (SEDUH). **Geoportal do Distrito Federal**. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/> . Acessado em: 03/05/2019.
- DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar nº 827, de 22/07/10. Regulamenta o art. 279, I, III, IV, XIV, XVI, XIX, XXI, XXII, e o art. 281 da Lei Orgânica do Distrito Federal, instituindo o Sistema Distrital de Unidades de Conservação da Natureza – SDUC, e dá outras providências. **Lex:** DODF de 24/01/11. Brasília, 22 de julho de 2010. 122º da República e 51º de Brasília.

- DISTRITO FEDERAL. LEI Nº 4.092, DE 30 DE JANEIRO DE 2008. Dispõe sobre o controle da poluição sonora e os limites máximos de intensidade da emissão de sons e ruídos resultantes de atividades urbanas e rurais no Distrito Federal. **Lex**: publicado no DODF nº 23, de 1º de fevereiro de 2008.
- EIGENBROD, F.; HECNAR, S. J.; FAHRIG, L. Quantifying the Road-Effect Zone: Threshold Effects of a Motorway on Anuran Populations in Ontario, Canada. **Ecology and Society**. 2009. 14(1). doi:10.5751/es-02691-140124.
- FORMAN, R. T. T. Estimate of the Area Affected Ecologically by the Road System in the United States. **Conservation Biology**. 2000. 14(1), p. 31–35.
- FORMAN R. T. T. *et al.* **Road Ecology: Science and solutions**. 2003. Island Press, Washington, D. C., USA.
- FRANÇOSO et al. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado biodiversity hotspot. **Natureza & Conservação**. [s. l.]: Elsevier. In: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001>, 2015.
- HEFFNER R. S., KOAY, G., HEFFNER, H. E. Hearing in American leaf-nosed bats. IV: the Common vampire bat, *Desmodus rotundus*. **Hear Res**. 2013 Feb;296:42-50. doi: 10.1016/j.heares.2012.09.011. Epub 2012 Nov 27. PMID: 23194991; PMCID: PMC3563265.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa logística dos transportes 2014**. Disponível em: [http:// https://loja.ibge.gov.br/logistica-dos-transportes-mapa-do-brasil.html](http://https://loja.ibge.gov.br/logistica-dos-transportes-mapa-do-brasil.html). Acessado em: 02 de junho de 2019.
- INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL (IBRAM). **Monitoramento da Poluição Sonora no Distrito Federal**. Disponível em: <http://www.ibram.df.gov.br/monitoramento-da-poluicao-sonora-no-distrito-federal/>. Acessado em: 25/04/2019.
- JACKSON, N. D.; FAHRIG, L. (2011). Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. *Biological Conservation*, 144(12), 3143–3148. <https://doi:10.1016/j.biocon.2011.09.010>.
- LAURANCE, W. F. Bad Roads, Good Roads. In: VAN DER REE, R; SMITH, D. J.; GRILO, C. *Handbook of Road Ecology*. Chichester: Wiley-Blackwell. 2015. p. 1-9.
- LIMA, R. X.; GIUSTINA, C. C. D. **Plano de Manejo da Reserva Biológica do Guará**. Disponível em: [https://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/05/Plano-de-Manejo-REBIO-do-Guar%C3%A1-Encarte\\_3.pdf](https://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/05/Plano-de-Manejo-REBIO-do-Guar%C3%A1-Encarte_3.pdf). Acessado em: 03/05/2023.
- MADADI, H.; MORADI, H.; SOFFIANIAN, A., SALMANMAHINY, A., SENN, J., GENELETTI, D. Degradation of natural habitats by roads: Comparing land-take and noise effect zone. **Environmental Impact Assessment Review**. 2017. 65, 147–155. doi:10.1016/j.eiar.2017.05.003.
- MARRIS, E. The forgotten ecosystem. **Nature**. [s.l.]: Nature publishing group. 13 October, 2005, 437. p. 944-945.
- MCGREGOR, P. K.; HORN, A. G.; LEONARD, M. L.; THOMSEN, F. Anthropogenic Noise and Conservation. In: Brumm H, editor. *Animal Communication and Noise*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2013. pp. 409+444. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41494-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41494-7_14).
- MOORE, L.J., PETROVAN, S.O., BATES, A.J., HICKS, H.L., BAKER, P.J., PERKINS, S.E. and YARNELL, R.W. (2023), Demographic effects of road mortality on mammalian populations: a systematic review. **Biol Rev**. <https://doi.org/10.1111/brv.12942>.
- MOURA, R.; DELGADO, P. R. Mobilidade Pendular Inter metropolitana: articulando a rede nacional de metrópoles. **E-metropolis**. UFRJ: Rio de Janeiro. nº 24, ano 7, março de 2016.
- MYERS, M. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. [s.l.]: Macmillan. v. 403. 2000. p. 853-858.

- NUNES, B. F. O Sentido Urbano de Ocupações Espontâneas do Território: Uma Periferia de Brasília. In: NUNES, B. F. (org.) **Sociologia de Capitais Brasileiras: Participação e Planejamento Urbano**. Brasília: Liber Livro, 2006, p. 35-63.
- PRADO, T. R.; FERREIRA, A. A.; GUIMARÃES, Z. F. S. Efeito da implantação de rodovias no cerrado brasileiro sobre a fauna de vertebrados. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. Maringá: Eduem, v. 28, n. 3, Julho/setembro 2006, p. 237-241.
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Planta, 2006, 328p.
- QUEIROZ, E. P. A Migração Intrametropolitana no Distrito Federal e Entorno: O Consequente Fluxo Pendular e o Uso dos Equipamentos Urbanos de Saúde e Educação. In: XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais. Caxambú: ABEP. 2006, 17 p.
- REIJNEN, R.; FOPPEN, R.; BRAAK, C. T.; THISSEN, J. The Effects of Car Traffic on Breeding Bird Populations in Woodland. III. Reduction of Density in Relation to the Proximity of Main Roads. **The Journal of Applied Ecology**. 1995. 32(1), 187. doi:10.2307/2404428.
- ROMANO, B. Evaluation of Urban Ecosystems. In: International Conference on Mountain Environment and Development (ICMED). CHENGDU, Sichuan, China. OCTOBER 15-19, 2002. doi=10.1.1.551.9780.
- ROSA, C. A. **Efeito de Borda de Rodovias em Pequenos Mamíferos de Fragmentos Florestais Tropicais**. 2012, p. 101. Dissertação de mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas. Universidade Federal de Lavras, 2012.
- SELVA, N.; SWITALSKI, A.; KREFT, S.; IBISCH, P. L. Why keep areas road-free? The importance of roadless areas. In: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. *Handbook of Road Ecology*. Chichester: Wiley-Blackwell. 2015. p. 16-26.
- SILVA, G. R.; DINIZ, P.; BANHOS, A.; DUCA, C. Positive roadside edge effects on artificial nest survival in a lowland Atlantic Forest. **Ecology and Evolution**. 2019;9:7402–7409. DOI: 10.1002/ece3.5158.
- SILVA, V. P.; DEFFACI, Â. C. ; HARTMANN, M. T.; HARTMANN, P. A. BIRDS AROUND THE ROAD: EFFECTS OF A ROAD ON A SAVANNAH BIRD COMMUNITY IN SOUTHERN BRAZIL. **Ornitologia Tropical**. ( 2017) 28: 119–128.
- SIMMONS, A. M.; NARINS, P. M. Effects of Anthropogenic Noise on Amphibians and Reptiles (2018). **Springer Handbook of Auditory Research**, 179–208. doi:10.1007/978-1-4939-8574-6\_7
- STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BALBIERI, R.; IRIBARREN, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEK, A. E.; FILHO, F. J. B. O.; SCARAMUZZA, C. A. M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**. [s.l.]: Nature. v. 1, article 0099, 2017, p. 3.
- TROMBULAK, S. C; FRISSELL, C. A. Review of ecological effect of roads on terrestrial and aquatic communities. **Conservation Biology**. [s. l.]: Wiley, v. 14, n. 1, Feb. 2000, p. 18-30.
- VAN DER REE, R. et al. Effects of Roads and Traffic on Wildlife Populations and Landscape Function: Road Ecology is Moving toward Larger Scales. *Ecology and Society*. [s.l.]: [s. ed.], v.16, n.1, March 2011, article 48.
- 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: VAN DER REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. *Handbook of Road Ecology*. Chichester: Wiley-Blackwell. 2015. p. 1-9.

#### 4. BIBLIOGRAFIA GERAL

- BOTELHO, R. D.; CÂMARA, J. J. D.; COSTA, I. C. S.; TRITINELLA, B. S. The Trucks as the Main Tool in the Cargo Transport in Brazil: The Driver's Health Impacts and the Sustainable Developments. **In:** BAGNARA, S.; TARTAGLIA, R.; ALBOLINO, S.; ALEXANDER, T.; FUJITA, Y. Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018). Volume VIII: Ergonomics and Human Factors in Manufacturing, Agriculture, Building and Construction, Sustainable Development and Mining. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer. Volume 825. 1056 p.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Lex:** Diário Oficial da União, de 2 de Fevereiro de 1981.
- BRASIL. Constituição, 1988. **Constituição: República Federativa do Brasil.** Brasília: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. Lei no. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Lex:** Diário Oficial da União, n. 138-E, seção 1, de 19 de Julho de 2000, pp. 01-07.
- BRASIL. Lei complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Lex:** Diário Oficial da União, de 9 de dezembro de 2011.
- COFFIN, A. W. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. **Journal of Transport Geography.** Gainesville: Elsevier, v. 15, 2007, p. 396-406.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. Pesquisa CNT de Rodovias. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acessado em: 05/05/2019.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Resolução n. 001, de 23 de janeiro de 1986. **Lex:** Diário Oficial da União, 17/2/86, pp. 2548-2549.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 237, de 22 de dezembro de 1997. **Lex:** Diário Oficial da União, n. 247, 22/12/97, p. 30.841-30.843.
- CORREA, V. H. C.; RAMOS, P. A Precariedade do Transporte Rodoviário Brasileiro para o Escoamento da Produção de Soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. **Revista Economia e Sociologia Rural.** Piracicabana: [s. ed.]. abr/jun 2010. vol. 48, nº 02, p. 447-472.
- DE CAMARGO, L. H. R. **A ruptura do meio ambiente. Conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência: A geografia da complexidade.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, 240p.
- ELLER, R. A. G.; JUNIOR, W. C. S.; CURI, M. L. C. Custos do transporte de carga no Brasil: rodoviário versus ferroviário. **Revista Literatura dos Transportes.** Manaus: SBPT. 2011. vol. 5, n. 1, p. 50-64.
- FORMAN R. T. T. *et al.* **Road Ecology: Science and solutions.** 2003. Island Press, Washington, D. C., USA.

- HOOPER, D. U. *et al.* A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. **Nature**. [s.l.]: Macmillan. v. 486. June, 2012. Pp. 105-109.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa logística dos transportes 2014**. Disponível em: <https://loja.ibge.gov.br/logistica-dos-transportes-mapa-do-brasil.html>. Acessado em: 02 de junho de 2019.
- JAEGER, J. A. G. Improving environmental impact assessment and road planning at the landscape scale. **In:** VAN DER REE, R; SMITH, D. J.; GRILO, C. Handbook of Road Ecology. Chichester: Wiley-Blackwell. 2015. p. 32-42.
- MAMADI, H.; MORADI, H.; SOFFIANIAM, A.; SALMANMAHINY, A.; SENN, J.; GENELETTI, D. (2017). Degradation of natural habitats by roads: Comparing land-take and noise effect zone. **Environmental Impact Assessment Review**, 65, 147–155. <http://doi:10.1016/j.eiar.2017.05.003>.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. De 03 a 1 de junho de 1992, Rio de Janeiro, Brasil.
- ONU. **Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável**. Rio +20: Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento. De 20 a 22 de junho de 2012, Rio de Janeiro, Brasil.
- PEREIRA, L. A.; LESSA, S. N. O processo de Planejamento e Desenvolvimento do Transporte Rodoviário no Brasil. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia: Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFU. v. 12, n. 40, dezembro, 2011, pp. 26-40.
- TROMBULAK, S. C; FRISSELL, C. A. Review of ecological effect of roads on terrestrial and aquatic communities. **Conservation Biology**. [s. l.]: Wiley, v. 14, n. 1, Feb., 2000, p. 18-30.
- 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:** VAN DER REE, R; SMITH, D. J.; GRILO, C. Handbook of Road Ecology. Chichester: Wiley-Blackwell. 2015. p. 1-9.
- VAN DER REE, R. *et al.* Effects of Roads and Traffic on Wild Life Populations and Landscape Function: Road Ecology is Moving toward Larger Scales. **Ecology and Society**. [s.l.]: [s. ed.], v.16, n.1, March, 2011, article 48.
- VASCONCELOS, E. A. **Transporte urbano em desenvolvimento: reflexões e propostas**. São Paulo: Annablume, 2000. p. 282.