

# Dinâmica das Rodovias: O Papel do Tráfego nos Índices de Atropelamentos de Fauna

Dynamics of Roads: The Role of Traffic in the Number of Accidents with Fauna

Tatiana Rolim Soares Ribeiro<sup>1</sup> 

Ruth Elias de Paula Laranja<sup>2</sup> 

Camila Barreiros Barbieri<sup>3</sup> 

## Palavras-chave:

Colisão entre Animais e Veículos  
Mitigação de Impactos  
Sinalização Vertical  
Avaliação de Eficácia  
Unidades de Conservação

## 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.

## Keywords:

Animal-Vehicle Collision  
Mitigation of Impacts  
Vertical Signs  
Evaluation of Efficacy  
Protected Areas

## 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 Distrito Federal - 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.

<sup>1</sup> Universidade de Brasília - UnB, Brasília, DF, Brazil. [tatifu@hotmail.com](mailto:tatifu@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade de Brasília - UnB, Brasília, DF, Brazil. [laranja.ruth@unb.br](mailto:laranja.ruth@unb.br)

<sup>3</sup> Universidade de Brasília - UnB, Brasília, DF, Brazil. [Cbarbi@hotmail.com](mailto:Cbarbi@hotmail.com)

## 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 consequente 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.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### 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

ecorreção do Planalto Central e vegetação nativa típica do bioma Cerrado (ARRUDA et al., 2006).

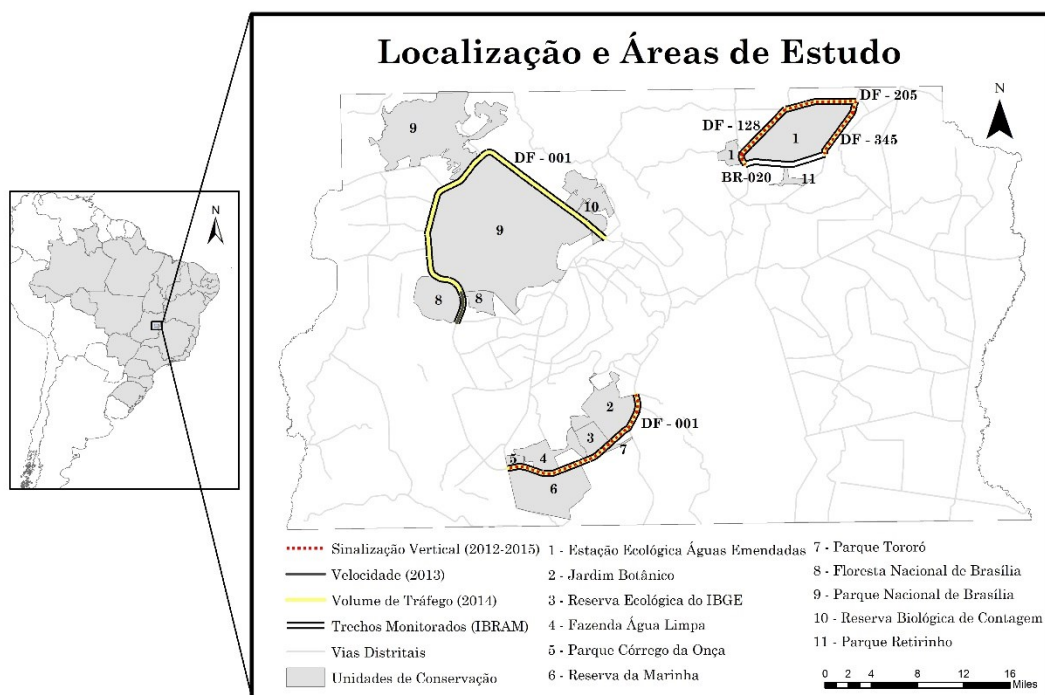
As rodovias estudadas foram definidas pelos dados de atropelamentos de fauna produzidos pelo Instituto Brasília Ambiental (IBRAM), entidade responsável pela fiscalização e administração das UC do DF.

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 1).

Figura 1 - 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).

### 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).

### 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.

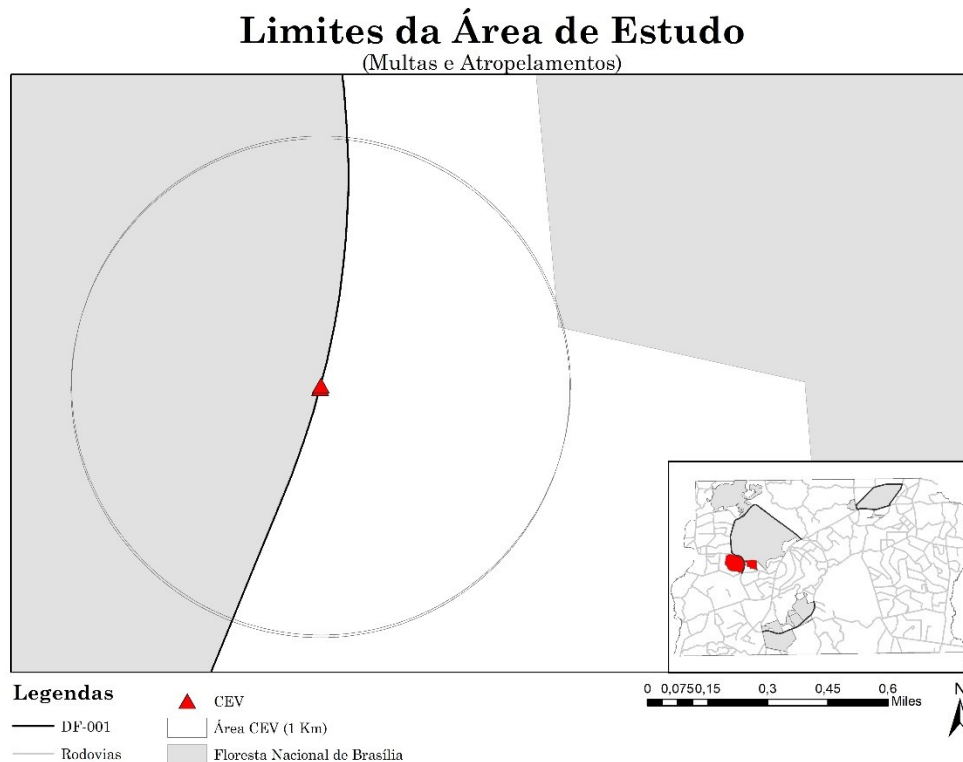
A partir desta premissa, os dados dos incidentes foram correlacionados às infrações por excesso de velocidade registradas nas vias monitoradas pelo IBRAM. Como a base de dados cedida pelo DER-DF continha apenas infrações de 2013, somente os atropelamentos observados no mesmo ano foram analisados. Nesse período,

havia dois CEV fixados em ambos os sentidos da DF-001, no trecho que contorna a Floresta Nacional Brasília (FNB; Figura 2).

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 2).

Figura 2 - 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 à 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).

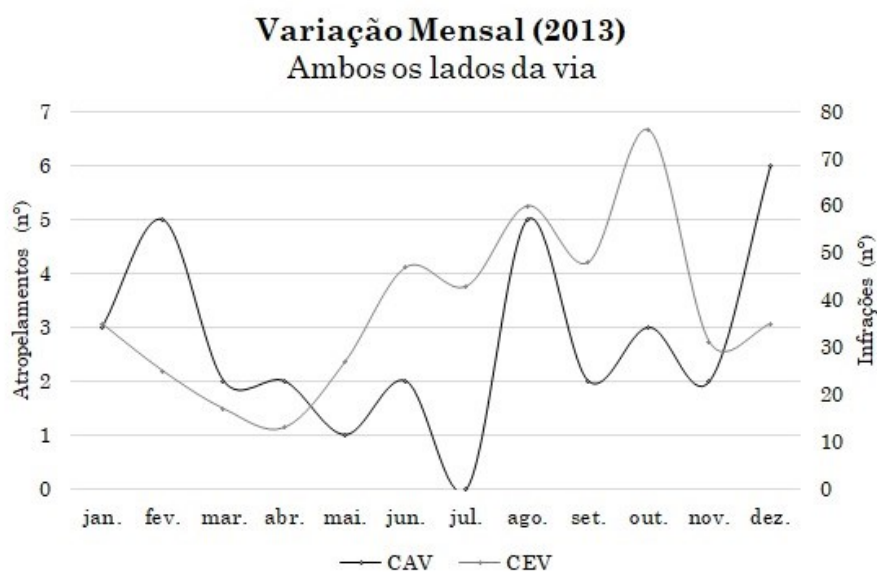
Os efeitos da instalação das placas foram calculados a partir da aplicação do Teste de Wilcoxon e da análise exploratória dos dados (REY; NEUHAUSER, 2011).

## 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 3). 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 3 - 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 1). 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 1).

**Tabela 1** - 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 ( $\text{Km}^{-1}$ ).

Correlação de Postos de <i>Spearman</i>				
	Direita	Esquerda	Total	TMD
$\rho$	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 grau 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 2; PRIMACK; RODRIGUES, 2006; MAIORANO; FALCUCCI; BOITANI, 2008).

**Tabela 2** - 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).

CAV e Índices de Diversidade						
	n	s	ext.rod (Km)	CAV/Km	D	1-D
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).

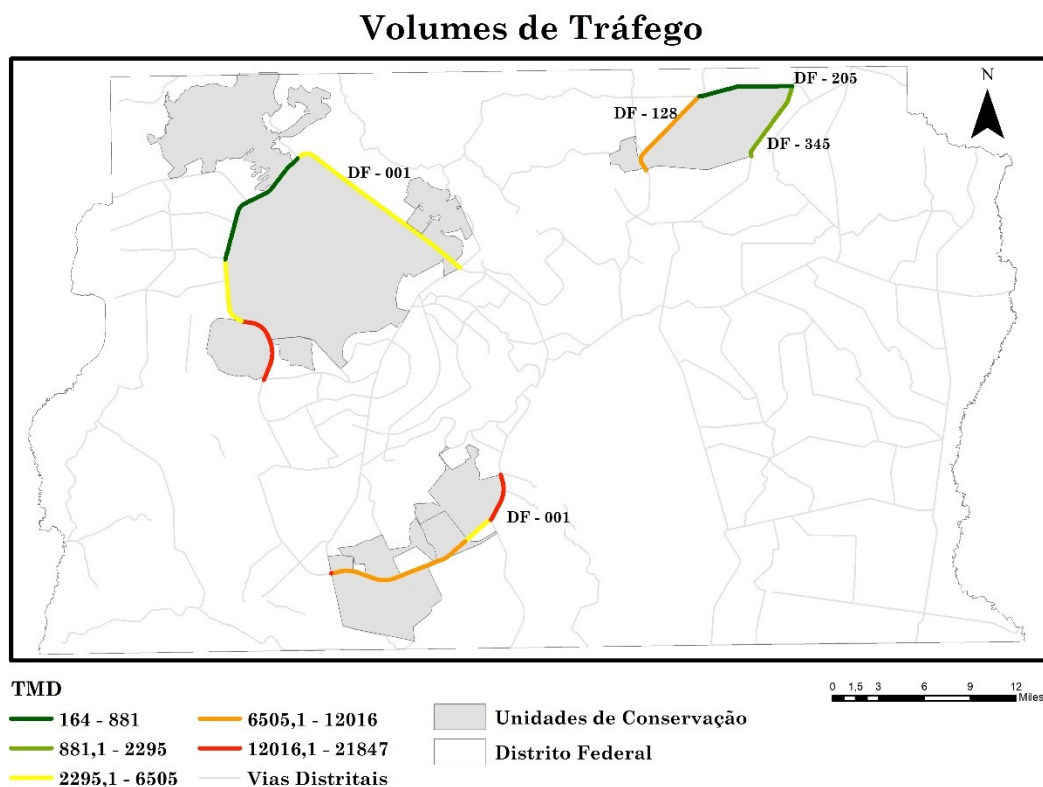
Juntos, o Parque e a Floresta Nacional de Brasília (FNB; PNB) possuem 516,91 km<sup>2</sup>, mas apresentam o menor índice de diversidade de espécies atropeladas (0,872). Já a Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE), com 91,81 km<sup>2</sup>, tem a maior diversidade de registros (0,918), montante 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 2). 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 4).

Figura 4 - Gradiente de 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.

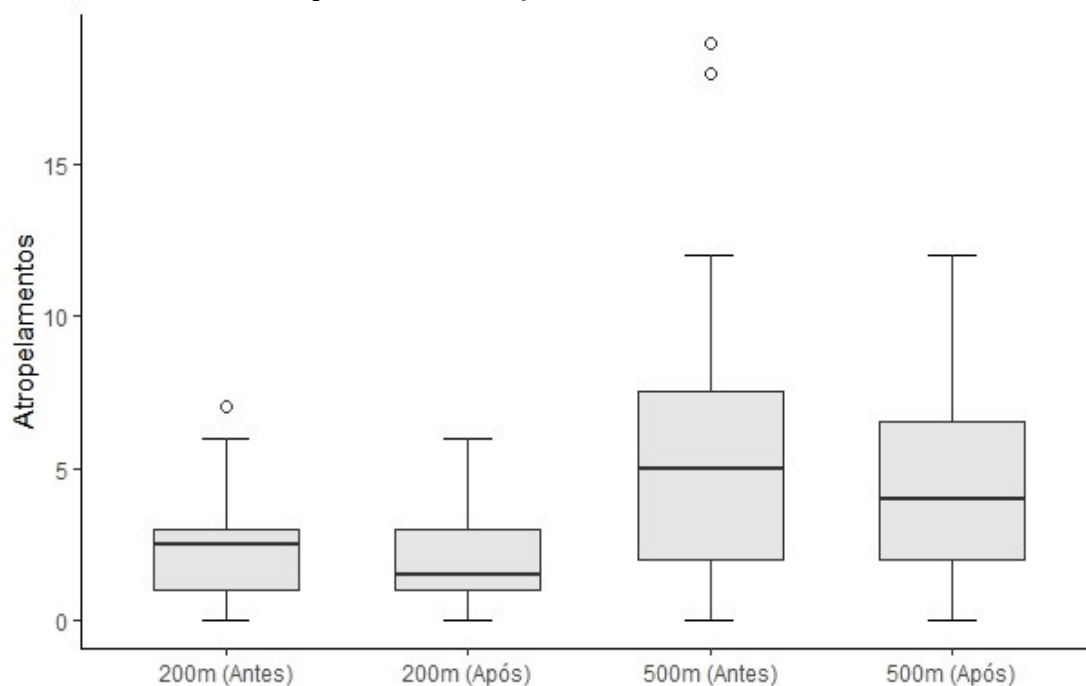
No presente estudo, as frequências dos atropelamentos e os menores índices de diversidade das espécies nos trechos mais movimentados, sugerem uma possível seleção das espécies habituadas às variações anuais do tráfego em CAV. Sendo assim, é de se considerar que a concentração de veículos nos segmentos 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 5).

Figura 5 - 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 (2021).

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 5), 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 3).

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

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

Fonte: os autores (2021).

O principal argumento para justificar a ineficácia da SV na redução de atropelamentos baseia-se no fato de que os motoristas se habituariam 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.

## 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.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e a UnB pela concessão da bolsa de pós-graduação ao primeiro autor.

## REFERENCES

- 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: Janeiro 16, 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/portal.cbee/docs/repensando\\_as\\_medidas\\_mitigadoras\\_i](https://issuu.com/portal.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=eyJrIjoiNDJiMTk4MGU0YmU0Ny00YzEwLWJmMzctNTZkM2JlMTBmOThlIiwidCI6IjM5NTdhMzY3LTZkMzgtNGMxZi1hNGJhLTMzZThmM2M1NTBjYzJ9&pageName=ReportSection0a112a2a9e0cf52a827>. Acesso em: Outubro 24, 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: Janeiro 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. <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: Abril 03, 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_CNT_de_Rodovias_2014_LOW.pdf). Acesso em: Outubro 03, 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. <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). <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: Julho 03, 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. <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. <https://doi.org/10.1126/science.aar7121>.
- GRAY, C. L., HILL, S. L. L., NEWBOLD, T., HUDSON, L. N., BÖRGER, L., CONTU, S., HOSKINS, A. J., FERRIER, S., PURVIS, A., SCHARLEMANN, J. P. W. (2016). Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide. **Nature Communications**, 7, 12306. <https://doi.org/10.1038/ncomms12306>.
- HANSEN, A. J.; DEFRIES, R. (2007). Ecological Mechanisms Linking Protected Areas to Surrounding Lands. **Ecological Applications**, 17(4), 974–988. <https://doi.org/10.1890/05-1098>.
- HOOVER, 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: Setembro 20, 2020.
- IBRAM. **projeto RODOFAUNA**. Disponível em: <https://www.ibram.df.gov.br/resultados-do-projeto-rodofauna/>. Acesso em: Setembro 22, 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: Novembro 02, 2021.
- IUCN 2021. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2021-2. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>. Acesso em: Maio 01, 2021.
- KHALILIKHAH, M., HEASLIP, K. (2017). Improvement of the performance of animal crossing warning signs. **Journal of Safety Research**, 62, 1–12. <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, n° 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154613>.
- MACARTHUR, R. H. (1965). PATTERNS OF SPECIES DIVERSITY. **Biological Reviews**, 40(4), 510–533. <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. <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. <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.; BRESOVIT, 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). <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: Abril 03, 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. <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. <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. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch3>.
- 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. <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: Junho 30, 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. <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. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch1>.
- 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>.

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Tatiana Rolim Soares Ribeiro concebeu o estudo, analisou os dados e redigiu o texto. Ruth Elias de Paula Laranja orientou o estudo e trabalhou na revisão do texto. Camila Barreiros Barbieri auxiliou na análise estatística dos dados.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.