



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**Influências da pavimentação de rodovias em índices de atropelamento de fauna:
o caso da rodovia GO-239 em Alto Paraíso de Goiás.**

Tatiana Rolim Soares Ribeiro

Brasília, DF
2016



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**Influências da pavimentação de rodovias em índices de atropelamento de fauna:
o caso da rodovia GO-239 em Alto Paraíso de Goiás.**

Tatiana Rolim Soares Ribeiro

Dissertação de mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Geografia, Área de Concentração Análise de Sistemas Naturais.

Aprovado por:

Prof^a. Dr^a. Ruth Elias de Paula Laranja
(Orientadora) UNB

Prof^a. Dr^a. Adriani Hass
(Examinadora) UFMA

Prof^a. Dr^a. Vivian Silva Braz
(Examinadora externa) Centro Universitário de Anápolis/Unievangélica

Brasília, DF

FICHA CATALOGRÁFICA

RIBEIRO, Tatiana Rolim Soares

Influências da pavimentação de rodovias em índices de atropelamentos de fauna: o caso da rodovia GO-239 em Alto Paraíso de Goiás.

Distrito Federal, Brasília 20 de fevereiro de 2017. X p. (PPGGEA - IH - UnB, Mestrado em Geografia, 2017)

Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Departamento de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia.

/IH/PPGGEA/UnB

I. Ecologia de Estradas. II. Fauna Silvestre Atropelada. III. Impacto de Rodovias. IV. Unidades de Conservação. V. Cerrado Brasileiro.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORIA: Tatiana Rolim Soares Ribeiro

TÍTULO: Influências da pavimentação de rodovias em índices de atropelamentos de fauna: o caso da rodovia GO-239 em Alto Paraíso de Goiás.

GRAU – ANO: Mestrado em Geografia – 2017.

Qualquer parte dessa dissertação pode ser reproduzida, desde que citada à fonte.

EPIGRAFE

[...] The next moment all the rabbits leaped up in panic... Hazel looked down at the road in astonishment. For a moment he thought that he was looking at another river – black, smooth and straight between its banks... “But that's not natural,” he said sniffing the strange, strong smells of tar and oil. “What is it? How did it come here?” “It's a man thing,” said Bigwig. “They put that stuff there and then the hrududil [cars] run on it – faster than we can...”

“It's dangerous, then? They can catch us?” “No, that's what's so odd. They don't take any notice of us at all... As a matter of fact, I don't think they are alive at all. But I must admit I can't altogether make it out.”

- Richard Addams, *Wathership Down*, 1972

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Ruth Laranja, que durante a elaboração deste trabalho, se fez presente e transformou todas as dificuldades encontradas em soluções. Agradeço à Professora Adriani Hass, minha co-orientadora, pela confiança e por me incentivar a estudar rodovias. Aos voluntários Ana Cristina, Ana Danielle, Guanair Júnior, Hugo Garcês, Lucas Lira e Yanka Bastos pela paciência e prestatividade no auxílio em campo.

Ao Thiago Furtado pelo auxílio na identificação dos animais encontrados. À Professora Dr^a. Vivian Braz, pela confiança, sugestões e conselhos valiosos.

Ao meu amado pai, Ademir Ribeiro, que apesar das adversidades, se permitiu acreditar em mim e me ensinou a importância do estudo, do esforço e da dedicação.

À minha querida mãe, Mariuska Nogueira, e às minhas amadas irmãs, Maya Vallejo e Victória Vallejo, que mesmo distante, me deram apoio e forças, quando achei que estas já tinham se esgotado.

Ao Rodrigo Alves, meu amigo e companheiro, por ser amoroso, compreensivo, presente e me acompanhar nesta jornada sem olhar para trás.

Ao meu querido avô, Ari Nunes Nogueira, de quem sinto tantas saudades.

Aos meus tão amados irmãos, Arthur Ribeiro e Clarisse Ribeiro, pela paciência e por compreenderem a minha ausência durante a elaboração do trabalho.

Aos meus amigos, que entenderam a minha ausência e me deram o apoio que precisava.

À Amanda Dorresteyn, pela amizade. Por ser minha confidente e me fazer sorrir em momentos difíceis.

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Descrição	Páginas
1	Localização do trecho da rodovia GO-239.	30
2	Trecho da rodovia GO-239 onde ocorreram as campanhas de amostragem.	32
3	Recorte e delimitação da área de estudo.	34
4	Classificação da área delimitada.	35
5	Análise K Ripley 2D para as classes de vertebrados amostradas.	48
6	<i>Hotspots</i> de atropelamentos identificados na rodovia GO-239 nos dois diferentes períodos de coleta realizados.	51
7	Classificação da paisagem.	54
8	Registros de atropelamentos.	58

LISTA DE TABELAS

Tabelas	Descrição	Páginas
I	Relação de espécies e indivíduos atropelados na rodovia GO-239 entre os anos de 2007 e 2008.	40
II	Relação de espécies e indivíduos atropelados na rodovia GO-239 entre os anos de 2007 e 2008.	42
III	Frequências de atropelamentos (N/Km) para registros obtidos antes e após as obras na rodovia GO-239.	45
IV	Relação de número de fragmentos (N) e porcentagem da área delimitada (%) para as parcelas que segmentam a área de estudo.	56
V	Resultados do teste U de Mann-Whitney para cada e para todas as classes amostradas.	59
VI	Coeficientes de regressão padronizados e as respectivas variáveis explicativas para as informações levantadas antes e após as obras na rodovia.	63

LISTA DE ABREVIATURAS

CNT	Confederação Nacional do Transporte
DF	Distrito Federal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
UC	Unidade de Conservação
PNCV	Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros
CTB	Código de Trânsito Brasileiro

SUMÁRIO

Lista de Figuras	I
Lista de Tabelas	II
Lista de Abreviaturas	III
1. Resumo	06
2. Abstract	07
3. Introdução	08
3.1. Justificativa: Turismo ecológico e investimentos em infraestrutura rodoviária na Chapada dos Veadeiros – GO	10
3.2. Objetivo Geral	14
3.3. Objetivos Específicos	14
3.4. Pergunta de Pesquisa	15
4. Revisão Teórica	15
4.1. Os Riscos das Rodovias para a Biodiversidade	15
4.2. Fauna Atropelada: histórico de estudos e avanço do conhecimento sobre o tema	19
4.3. Conceitos Relevantes	21
4.4. O papel da biogeografia no estudo de animais silvestres atropelados	24
4.5. A fauna atropelada no Brasil	26
4.6. A fauna atropelada em diferentes superfícies	29
5. Passos Metodológicos	30
5.1. Área de Estudo	30
5.2. Métodos de coleta	32
5.3. Análise das características espaciais.....	33
5.4. Análise dos dados.....	35
5.4.1. Frequência de atropelamentos	35

5.4.2. Análise da distribuição de eventos em relação aos dados auferidos	36
5.4.3. Distribuição espacial de eventos.....	36
5.4.4. Relação entre os registros de atropelamentos e a paisagem que compõe as margens da rodovia	37
5.4.5. Discussão sobre as medidas a serem tomadas para a mitigação dos impactos	38
5.5. Organograma	39
6. Resultados e Discussão	39
6.1. Índices de atropelamentos de fauna.....	39
6.1.1. Relação de espécies encontradas.....	39
6.1.2. Frequência de atropelamentos.....	45
6.2. Distribuição espacial de eventos	47
6.2.1. <i>Hotspots</i> de atropelamentos	50
6.3. Classificação da paisagem que compõe as margens da rodovia	53
6.4. Análise dos dados	57
6.4.1. Diferenças nas amostragens realizadas antes e após as obras na rodovia	57
6.4.2. Relações entre os pontos registrados e os atributos da paisagem adjacente aos <i>hotspots</i> de atropelamentos identificados	60
6.5. Possíveis influências da Rodovia GO-239 à diversidade de espécies	64
7. Possíveis alternativas para a mitigação dos impactos	71
7.1. Passagens de Fauna	72
7.2. Cercamento alternado	74
7.3. Placas e sinalização	76
7.4. Redutores de velocidade	77
7.5. Rodovia GO-239: o cenário atual e a medida indicada para a redução dos impactos observados	80
8. Considerações Finais	83
9. Bibliografia	86

10. Apêndices	98
---------------------	----

1. RESUMO

Rodovias são empreendimentos lineares de grande importância econômica em nações emergentes. No Brasil, país mundialmente conhecido pela sua megadiversidade de espécies, é comum a expansão de autoestradas sem o devido planejamento. É importante, portanto, compreender quais os efeitos das mudanças no pavimento de estradas para fauna silvestre em áreas especialmente protegidas. O presente estudo analisou dados auferidos antes e após a pavimentação da rodovia GO-239 no trecho que liga a cidade de Alto Paraíso de Goiás ao Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Os resultados evidenciam um aumento nas frequências de atropelamentos quando comparados os dois períodos trabalhados (0,029 antes e 0,043 após a pavimentação). Ademais, apenas na porção dos dados que foi colhida após a conclusão das obras, foram identificadas aglomerações de atropelamentos nas proximidades da cidade. Os *hotspots* de atropelamentos de anfíbios e de todas as classes de vertebrados amostradas entre os anos de 2015 e 2016 foram positivamente relacionadas ao número de fragmentos urbanos ($0,874 \pm 0,35$; $0,640 \pm 0,93$), relação não observada nas amostras obtidas antes das intervenções na via. Os dados levantados indicam que a fauna habitante das áreas próximas à autopista está suscetível aos impactos negativos da perda na conectividade de manchas de vegetação natural (efeito de barreira) e à redução na qualidade dos *hábitats* locais, possivelmente, devido ao aumento na velocidade empregada por condutores de veículos após o asfaltamento do trecho viário. As alterações observadas nas distribuições de incidentes foram mais relacionadas às possíveis mudanças no comportamento de motoristas do que à modificação da superfície rodoviária. Propõe-se, de pronto, a instalação de redutores de velocidade, físicos ou eletrônicos, nos pontos críticos identificados e a realização de estudos que busquem avaliar a composição e a ecologia da fauna afetada pelo empreendimento. Mais adiante, indica-se a implementação e um sistema de proteção à fauna.

PALAVRAS-CHAVE: Ecologia de estradas; Fauna Silvestre Atropelada; Impacto de Rodovias; Unidades de Conservação; Cerrado Brasileiro.

2. ABSTRACT

Linear enterprises such as highways are of extreme economic value in emerging nations. In Brazil, a country worldly known by its megadiversity, roads expansion without considering the proper planning is a common issue. The comprehension of the effects of roads paving to the wild fauna in specially protected areas are, then, of great importance. This paper analyzes the measured data before and after the paving of highway GO-239 on the portion that connects the city of Alto Paraíso de Goiás to the Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. The results show an increase on roadkill rates when comparing both periods analyzed (0,029 before and 0,043 after the paving). Furthermore, agglomerations of roadkills near the city were identified when considering the fraction of the data measured after the paving. Amphibian and vertebrates roadkill hotspots sampled between 2015 and 2016 were positively related to the number of urban fragments ($0,874 \pm 0,35$; $0,640 \pm 0,93$). Samples dated before the paving does not show the same pattern. The measured data indicates that fauna near the highway is more susceptible to the negative impact of connectivity loss of natural vegetation spots (Barrier Effect) and susceptible to the reduction on quality of local habitats. The changes observed on incident distribution were more related to changes on drivers behaviour than to modification on road's surface. Its suggested the implementation of speed reducers (physical or eletronic ones) on the critical points identified and further research on composition and ecology of the fauna affected by the pavement. A fauna protection system is also recommended to be implemented.

KEYWORDS: Road ecology; Wildlife roadkills; Impacts of roads; Protected Areas; Brazilian's Cerrado.

3. INTRODUÇÃO

O início da utilização de veículos automotores para a locomoção é visto como um marco na economia mundial. Os automóveis diminuíram drasticamente o tempo e os esforços atrelados à locomoção, beneficiando não apenas a mobilidade urbana, como também a acessibilidade, o transporte de produtos e mercadorias. Dessa forma, as rodovias foram relacionadas ao crescimento econômico e social de vários países, sendo, portanto, tomadas como estruturas necessárias ao desenvolvimento. Hoje, grande parte do território mundial está encoberto por faixas de rodagem de veículos (BISSONETE; ADAIR, 2008; VAN DER REE *et al.*, 2011).

Apesar da importância econômica, as infraestruturas de transporte rodoviário também alteram os ambientes naturais de diversas formas. Na construção de uma rodovia, por exemplo, a supressão da vegetação e a pavimentação alteram as características físicas do ambiente – como a intensidade de luz na área afetada e a capacidade de infiltração de água no solo. A depender da fitofisionomia dominante e da capacidade de adaptação da biota local, estas perturbações podem ser suficientes para afetar a composição e a distribuição de organismos nas proximidades da via (COFFIN, 2007; DA ROSA, 2012; NELBOLD *et al.*, 2015).

Além das influências nas características do ambiente que as cercam, as rodovias representam também um risco aos animais que passam a habitar as áreas próximas a esses empreendimentos lineares. Para as espécies que não foram afugentadas ou impactadas pelas alterações das regiões influenciadas pelas faixas de rodagem, principalmente as com áreas de vida que vão além da fragmentação gerada pela construção (BISSONETE; ADAIR, 2008), os efeitos negativos diretos incluem a colisão com veículos (BAGATINI, 2006; PRADO; FERREIRA; GUIMARÃES, 2006; CUNHA; MOREIRA; SILVA, 2010). Estes incidentes são o resultado de um conflito característico de estradas e rodovias: a exposição de ambientes autóctones e da vida selvagem ao fluxo de automóveis e à presença humana.

Quando nos referimos ao Brasil, um país megadiverso cujo principal meio de transporte utilizado é o rodoviário (VASCONCELOS, 2000), as interferências de rodovias em ambiência nativa devem ser bem analisadas.

O bioma Cerrado destaca-se por ser um dos principais conjuntos ecossistêmicos do Brasil (FRANÇOSO *et al.*, 2014; HUNKE *et al.*, 2015). É o segundo maior bioma do país, ocupando cerca de 21% de sua extensão territorial (KLINK; MACHADO, 2005). O avanço do agronegócio e a expansão urbana desordenada, porém, modificaram suas áreas naturais a tal ponto que, hoje, correm o risco de desaparecer. Se nada for feito a respeito, previsão é de que o bioma seja extinto em 13 anos (MACHADO, 2005; MARRIS, 2005).

A criação de áreas protegidas é uma das principais estratégias adotadas para a conservação de ambientes naturais no Brasil (BRASIL, 1981; BRASIL, 2000). Dentre as 320 áreas federais delimitadas com o intuito de proteger e garantir o funcionamento de ecossistemas nativos, 55 estão inseridas no Cerrado brasileiro (ICMBIO, 2016). Todavia, a expansão urbana e o escoamento de produtos em vias rodoviárias fizeram com que grande parte dessas áreas ficassem circunscritas a faixas de rodagem de veículos automotores (BAGATINI, 2006; CÁCERES *et al.*, 2010; PRADO; FERREIRA; GUIMARÃES, 2006). Portanto, apesar de ser uma estratégia que já demonstra efetividade, a demarcação com o objetivo de proteger espaços nativos não impede a exposição da fauna e da flora silvestres aos impactos das rodovias.

Segundo os dados do Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas (CBEE; 2016), cerca de 475 milhões de animais são atropelados nas estradas brasileiras a cada ano. Tal dado é preocupante, principalmente no que diz respeito aos ambientes naturais resguardados.

Áreas autóctones com importantes conjuntos ecossistêmicos, como o Cerrado, e que são influenciadas pelo estabelecimento de estradas ou rodovias, ainda que protegidas, devem ser monitoradas de forma a conhecer as variáveis do

impacto relativo à perda de espécimes representantes da fauna silvestre. Os dados obtidos devem ser analisados e utilizados na mitigação dos danos para garantir que tais ambientes sejam minimamente afetados por este tipo de empreendimento, tão comum no território brasileiro.

3.1. Justificativa: Turismo ecológico e investimentos em infraestrutura rodoviária na Chapada dos Veadeiros – GO

Localizado no centro do Brasil, o Goiás é um dos estados que apresentam em suas paisagens naturais as características do Cerrado. O histórico de colonização e desenvolvimento do estado está diretamente relacionado ao uso dos recursos ambientais que compõem o bioma. O solo, o clima e a hidrografia do planalto goiano possibilitaram o desenvolvimento de atividades produtivas como, por exemplo, a mineração, as produções agrícola e pecuária, que, ainda hoje, são relevantes para a economia do estado e do país (IBGE, 2011).

No centro de Goiás, o Distrito Federal sedia Brasília: a capital do Brasil. Trata-se de uma metrópole com importância não apenas econômica e social, mas também política, cujas influências ultrapassam as fronteiras do Distrito Federal e chegam a todos os estados do país (QUEIROZ, 2006). Tal importância fez com que, no subsistema rodoviário federal brasileiro, fossem construídas vias pavimentadas para ligar Brasília aos demais centros urbanos do país, expondo novas áreas e viabilizando a ocupação das regiões que margeiam o DF.

Os residentes da capital federal e de polos urbanos goianos costumam optar por práticas de lazer em cidades próximas com grande apelo turístico. Nos limites goianos, recebem destaque os municípios que compõem a microrregião da Chapada dos Veadeiros. A área concentra as maiores riquezas naturais ainda conservadas do Cerrado brasileiro (ICMBIO, 2009) e

é composta por oito municípios. Dentre esses, Alto Paraíso de Goiás e Cavalcante são os que recebem a maior afluência de atividades turísticas da região (ICMBIO, 2009). A prática do turismo proporcionou aos entes federativos a possibilidade de se desenvolverem economicamente. Porém, deslocamentos de visitantes intensificam o fluxo de veículos nas vias que cortam as áreas de grande diversidade biológica como os fragmentos que compõem os remanescentes do Cerrado, o que pode influenciar a frequência de atropelamentos de animais silvestres e afetar a permeabilidade do ambiente em questão.

As unidades de conservação (UC) da chapada sofrem influência direta da movimentação de veículos nas rodovias próximas (BRAZ; FRANÇA, 2016). Nessas vias, podem ocorrer colisões entre veículos e os animais que transitam entre as reservas. Portanto, o contato entre as áreas naturais protegidas e as rodovias caracteriza um cenário de conflitos entre a intensidade do fluxo de automotores e a travessia de animais silvestres por entre os fragmentos remanescentes.

O Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros é um exemplo de área autóctone protegida, exposta às influências de faixas de rodagem de veículos. Ocorre que a principal via de acesso ao parque, a rodovia GO-239, passa por uma vila formada por ex-garimpeiros – a Vila São Jorge. Desde a inauguração do parque, em 1961, os habitantes da vila passaram a receber os visitantes, oferecendo as estruturas turísticas de apoio à visitação (ICMBIO, 2015). Cabe ressaltar que a região onde o parque se insere conta com cerca de 15 Reservas Particulares do Patrimônio Natural, três Parques Municipais, e uma Área de Proteção Ambiental estadual (DE LIMA; FRANCO, 2014). As unidades de conservação, dispõem de grande beleza cênica e riquezas naturais que servem de atrativo aos turistas. O mosaico de UC por si só demonstra a importância ecológica da região.

Como já citado acima, Alto Paraíso de Goiás e Cavalcante são os

municípios que recebem a maior concentração de turistas e a economia desses municípios é voltada a essas atividades. Observa-se, assim, a relevância da implantação de infraestruturas de transporte de boa qualidade, que viabilizem o fluxo de veículos e atraiam novos visitantes à região.

Tendo em vista a concentração de atividades relacionadas ao turismo na Chapada dos Veadeiros, estas podem ser tidas como um dos fatores que levaram o estado de Goiás a investir em obras de infraestrutura rodoviária (ICMBIO, 2009; SALGADO; VIANA; ARAGÃO, 2014). Em agosto de 2015, a primeira etapa da obra de pavimentação e construção de ciclovia na GO-239 foi inaugurada no trecho de 36 quilômetros entre o município de Alto Paraíso de Goiás e a vila São Jorge. Antes, o segmento da rodovia que dá acesso a vila contava com um trecho de aproximadamente 36 quilômetros (cerca de 12 de via pavimentada e 24 quilômetros de estrada de terra). O projeto ainda prevê a pavimentação de toda a via, dividindo a obra em duas etapas. A primeira etapa, já concluída, cobriu o trecho entre Alto Paraíso de Goiás e a vila São Jorge. A segunda etapa ainda será realizada e contará com a pavimentação do trecho que liga a vila ao município de Colinas do Sul.

Os efeitos da pavimentação da rodovia já vinham sendo discutidos antes mesmo do início das obras. Da Silva e Nunes (2006) avaliaram os efeitos socioeconômicos da infraestrutura de transportes nas localidades turísticas, em específico, a pavimentação da estrada GO-239 na vila de São Jorge. Os impactos positivos encontrados pelos autores do estudo são indicados pelos aspectos operacionais e, os negativos, pelas ocupações do solo influenciadas pela implantação de novos serviços. Os autores destacaram a importância da atividade de ecoturismo na região e sugeriram a implantação de planos e projetos relacionados ao turismo na vila São Jorge.

Os índices de atropelamentos de fauna também foram estudados na rodovia GO-239 antes do início das obras de pavimentação. Braz e França (2016) relacionaram as características da paisagem que compunha as

margens da rodovia com os grupos de vertebrados atropelados. Anfíbios foram relacionados a áreas de floresta nas margens da rodovia (matas de galeria); aves foram relacionadas às áreas de pasto; mamíferos foram relacionados às estradas não pavimentadas; e, répteis e pequenos mamíferos foram relacionados às áreas abertas.

Sabe-se, porém, que as obras de pavimentação modificaram não apenas as características da rodovia, como também o ambiente que a cerca. Os mecanismos que influenciam os índices de atropelamento de fauna podem também ter sofrido alterações com a variação do espaço.

Como já citado anteriormente, espécies endêmicas e com pequenas áreas de vida são as mais suscetíveis aos efeitos da fragmentação (PRIMACK; RODRIGUES, 2006), porém, animais cujas áreas de vida ultrapassam as fronteiras artificialmente criadas pela diminuição e descaracterização de habitats e tolerantes às alterações do ambiente também estão expostos aos riscos de colisão com veículos. Isto porque existe uma tendência a se deslocarem por entre os fragmentos de vegetação natural – em busca de alimentação, reprodução etc. - e, se as áreas modificadas forem cortadas por rodovias, haverá na travessia, o risco de colisão com veículos (PRADO; FERREIRA; GUIMARÃES, 2006). Além disso, a pavimentação do trecho de terra da GO-239 proporcionou aos motoristas a possibilidade de transitarem com maior velocidade, diminuindo assim, o tempo de resposta na ocorrência de um encontro com um animal silvestre. O risco da presença de rodovias nestes ambientes está também associado às barreiras formadas pela possível intensificação no fluxo de veículos (DA ROSA, 2012).

Espera-se, portanto, que a taxa de atropelamentos de animais seja influenciada pela proximidade de um fragmento extenso de vegetação natural como o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e pelas características dos remanescentes de vegetação que compõem a paisagem das margens da via, como tamanho, fitofisionomia dominante, presença de corpos d'água, etc.

De posse das medições brutas de atropelamentos obtidas antes da pavimentação da via e que foram disponibilizadas pelos pesquisadores que levantaram os dados, o presente estudo buscará avaliar as influências da recente pavimentação e das mudanças estruturais do trecho da rodovia GO-239 nas frequências de vertebrados silvestres atropelados, com base na comparação dos dados auferidos antes e depois das obras no trecho de cerca de 36 quilômetros de via asfaltada que dá acesso aos portões principais do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.

3.2. Objetivo geral:

O presente trabalho tem como objetivo principal realizar o diagnóstico de atropelamentos em um trecho da rodovia GO-239 que foi modificado por obras de reestruturação e avaliar de que forma a pavimentação e a mudança estrutural de estradas podem influenciar a frequência de colisões entre veículos e a fauna silvestre do Cerrado.

3.3. Objetivos Específicos

1. Identificar os animais mortos encontrados ao longo do trecho da rodovia GO-239, que dá acesso ao Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, em Goiás, antes e depois da pavimentação e das intervenções na infraestrutura rodoviária;
2. Comparar os índices de atropelamentos antes e depois das obras na GO-239;
3. Identificar quais foram os efeitos das mudanças estruturais da GO-239 nos atropelamentos de fauna silvestre e quais foram as influências para a fauna que habita as imediações do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.

3.4. Pergunta de pesquisa

Qual a influência da pavimentação e da alteração na infraestrutura de estradas no índice de animais silvestres atropelados?

4. REVISÃO TEÓRICA

4.1. Os Riscos das Rodovias para a Biodiversidade

A construção de rodovias foi, durante anos, relacionada ao desenvolvimento econômico e social de diversos países (BECKER, 1977). Esta visão foi justificada pelos benefícios associados ao processo de industrialização, à mobilidade urbana, à rapidez na exportação e importação de produtos, à acessibilidade etc. (PEREIRA; LENDZION, 2013).

A importância de rodovias na economia, principalmente nos países que ainda estão em processo de desenvolvimento, é inegável. É através das malhas rodoviárias que grande parte das mercadorias chega ao consumidor. Além disso, o custo de deslocamento dos produtos é internalizado nos seus preços de venda, com influências diretas no funcionamento do mercado e, conseqüentemente, no PIB de um país (ERHART; PALMEIRA, 2006).

As etapas necessárias para a construção e para o estabelecimento de uma rodovia envolvem o planejamento prévio, a delimitação de sua área, a supressão da vegetação, a compactação e o nivelamento do solo, o asfaltamento e a pintura, além da construção de estruturas necessárias ao seu estabelecimento como descidas d'água, meio-fio, iluminação, pintura etc. (DNER, 1995).

Assim como em toda a construção, as pistas sofrem danos ao longo do tempo e necessitam de manutenções periódicas para o seu pleno funcionamento. Dessa forma, a infraestrutura de transporte rodoviário modifica ambientes naturais e influencia os microhabitats que a cerca durante todas as etapas do seu estabelecimento, e quando já estabelecida, durante as práticas de manutenção.

Em uma revisão sobre os efeitos ecológicos de estradas sobre comunidades aquáticas e terrestres, Trombulak e Frissell (2000) afirmam que estradas e rodovias afetam os ecossistemas de sete formas gerais: (1) aumento na mortalidade durante a construção; (2) aumento da mortalidade por colisão com veículos; (3) mudanças no comportamento das espécies afetadas; (4) alteração do ambiente físico; (5) alteração no ambiente químico; (6) vias de dispersão de espécies exóticas; e (7) uso de habitats e o aumento de ambientes alterados por seres humanos.

As perturbações ambientais geradas pela implantação de infraestruturas rodoviárias podem ser suficientes para afetar a distribuição e a composição de organismos nas proximidades da rodovia (DA ROSA, 2012). Para a fauna, por exemplo, a exposição às mudanças na iluminação do ambiente e aos ruídos provenientes do fluxo de veículos faz com que algumas espécies evitem habitar ou até mesmo transitar pelas proximidades das vias (DA ROSA 2012; BAGER, 2013).

Estas alterações afetam não apenas os indivíduos e suas populações, nos riscos da adaptação às novas áreas, mas também as comunidades, haja vista que, as relações ecológicas que antes estavam estabelecidas neste ambiente foram afetadas pela diminuição na variedade de espécies, a depender dos nichos que estas ocupavam (PRIMACK; RODRIGUES, 2006). Isso também pode ser observado na perda de estoque de fauna por atropelamentos (PRADO; FERREIRA; GUIMARÃES, 2006).

Outro efeito relacionado à presença de rodovias é a exposição de áreas preservadas à exploração e à pressão antrópica (BAGATINI, 2006; BARRI, 2010; PRADO; FERREIRA; GUIMARÃES, 2006; RODRIGUES *et al.*, 2002). A construção de vias vicinais é comum no estabelecimento de rodovias (NUNES, 2006). Além disso, o acesso a estas áreas facilita as práticas de caça, a supressão da vegetação e a habitação de novas áreas que darão origem às vilas e pequenas cidades (PEREIRA; LESSA, 2011; PRIMACK; RODRIGUES, 2002).

O fluxo contínuo de veículos contribui também com a dispersão de espécies invasoras, cujos propágulos podem se fixar nas rodas ou nas laterais dos automotores e percorrer longas distâncias antes de encontrar, nas margens da pista, o ambiente ideal para o seu crescimento (VAN DER REE *et al.*, 2011). A grande capacidade de adaptação e dispersão dessas plantas faz com que ganhem vantagem ao competir por nutrientes com espécies nativas e, portanto, uma única população passará a ocupar nichos que antes eram ocupados por várias outras espécies (DA ROSA, 2012).

O mesmo ocorre com a fauna. Animais domésticos costumam fazer o uso de acostamentos como vias facilitadoras de acesso a novas áreas e, nesse percurso, são comuns os encontros com espécies nativas que são expostas a doenças, pragas ou até mesmo à predação (LACERDA, 2002).

Segundo os autores Primack e Rodrigues (2006, p. 82), as maiores ameaças à diversidade biológica estão diretamente relacionadas às perturbações geradas ao meio ambiente pelo avanço das atividades antrópicas:

[...] perturbações em massa causadas pelo homem têm alterado, degradado, destruído a paisagem em larga escala, levando espécies e mesmo comunidades inteiras ao ponto de extinção. As maiores ameaças à biodiversidade que resultam da atividade humana são:

- destruição;
- fragmentação;
- degradação do habitat (incluindo poluição);
- superexploração das espécies para uso humano;
- aumento de ocorrência de doenças.

Cabe ressaltar que todas as ameaças citadas pelos autores podem ser relacionadas aos efeitos negativos causados pela implantação de vias de transporte rodoviário às espécies. Portanto, os impactos gerados por rodovias são diversos e contemplam as principais ameaças à biodiversidade (PRIMACK; RODRIGUES, 2006).

Assim, os esforços para a conservação de ambientes vulneráveis devem levar em consideração os impactos gerados por rodovias, que interferem de forma negativa no estabelecimento de populações, comunidades e ecossistemas (PRIMACK; RODRIGUES, 2006; VAN DER REE *et al.*, 2011). Spillerberg (1998) chama atenção, em seu trabalho, para a importância do levantamento de dados referentes à biologia e à ecologia das espécies em relatórios e avaliações de impacto ambiental antes mesmo da construção das rodovias.

No Brasil, a legislação ambiental atual define a necessidade de estudos prévios para a análise dos danos ambientais que serão causados pela implantação de empreendimentos lineares, a depender das características da própria rodovia e do local onde esta será construída (CONAMA, 1986; CONAMA, 1997; BRASIL, 1981; BRASIL, 2004).

Porém, mesmo que haja esforços para a mitigação de impactos, as pistas caracterizam uma constante fonte de mortalidade para muitas espécies

(TROMBULAK; FRISSELL, 2000) e os efeitos sobre a fauna e os ambientes expostos a este risco devem ser acompanhados ao longo do tempo.

Temos, portanto, que a diversidade biológica é diretamente influenciada pela implantação de estradas e rodovias e que os efeitos ecológicos desses empreendimentos devem ser monitorados buscando esclarecer, em longo prazo, os danos gerados às populações e comunidades da fauna silvestre.

Ainda que as influências de rodovias possam ser positivas ou negativas a depender das características e capacidades de adaptação de cada espécie afetada e de fatores atrelados à própria rodovia (BAUTISTA *et al.*, 2003; VAN DER REE *et al.*, 2011; SPELLERBERG, 1998; DA ROSA; BAGER, 2013), o conhecimento destes efeitos têm muito a contribuir com a efetividade das medidas mitigadoras aplicadas e às práticas de conservação, na busca pela minimização dos danos gerados à fauna pela utilização e o avanço na construção de infraestruturas de transporte rodoviário.

4.2. Fauna atropelada: histórico de estudos e o avanço do conhecimento sobre o tema

Os efeitos dos incidentes ocorridos entre animais silvestres e veículos em rodovias já são amplamente estudados no mundo (SPEELEMBERG, 1998; FORMAN, *et al.*, 2003; COFFIN, 2007; VAN DER REE *et al.*, 2011; GUNSON; MOUNTRAKIS; QUACKENBUSH, 2011; KROLL, 2015).

Um dos primeiros estudos que trata especificamente dos possíveis efeitos relacionados à taxa crescente de atropelamentos da fauna foi publicado em meados do século XX. Stoner (1925) chamou a atenção, em seu estudo, para o grande número de mamíferos, pássaros e outras classes de animais atropelados que foram observados pelo próprio autor durante uma viagem de rotina, partindo da Cidade de Iowa em direção ao Condado de

Dickinson, no mesmo estado. No artigo, o autor fez uma pequena coleta de dados, em que registrava os animais vítimas de atropelamento no trajeto de ida e de volta do condado.

Nas décadas seguintes, os impactos diretos gerados pelas rodovias passaram a chamar a atenção de autores que concentraram seus esforços no levantamento de dados sobre atropelamentos de fauna, assim como os seus efeitos para a biodiversidade local (SCOTT, 1938; DICKERSON, 1939). Observa-se, nesses estudos, uma abordagem ecológica pouco conservacionista. Scott (1938), por exemplo, fez um levantamento de animais atropelados encontrados em áreas de caça esportiva e explicou sobre os efeitos dessas ocorrências para a regulação das populações, além dos riscos para a continuidade da prática do esporte.

A questão ambiental passa a ter maior atenção da comunidade científica entre as décadas de 60 e 70, ainda no século XX (COFFIN, 2007), e essa mudança também pôde ser observada em estudos sobre atropelamentos de fauna. Um exemplo é o trabalho realizado por Case (1978), que correlacionou a frequência de animais atropelados com os dados de volume de tráfego e de velocidade média de veículos, obtidos pelo departamento de estradas de Nebraska ao longo de sete anos. No trabalho, o autor explica sobre os efeitos da rodovia no comportamento e no ciclo reprodutivo de algumas espécies de animais silvestres, além de propor a utilização dos dados coletados por ele como uma guia na aplicação de medidas mitigadoras de atropelamentos.

Foi no início da década de 90 que o número de estudos sobre os efeitos das rodovias cresceu rapidamente, com destaque na América do Norte, Austrália e Europa (VAN DER REE *et al.*, 2011). Os avanços no conhecimento sobre os efeitos das rodovias expandiram os horizontes de estudiosos do tema e abriram novas vertentes para a análise dos impactos indiretos atrelados à presença de rodovias em áreas naturais.

Mais adiante, em 2003, Forman *et al.* criaram uma equipe de estudos para pesquisar as diversas influências das estradas e publicaram o livro *Road Ecology: Science and Solutions*. A publicação é conhecida como um marco, já que difundiu o conceito de ecologia de estradas.

Ainda que o título do livro pareça simplificar o tema com uma abordagem puramente ecológica, o autor frisa que essa é uma vertente multidisciplinar e que trabalha com várias áreas do conhecimento (FORMAN *et al.*, 2003; COFFIN, 2007). A exemplo disso pode-se citar os diversos temas abordados no livro, como: os desafios entre o crescente processo de urbanização e a conservação do meio ambiente; a estabilidade dos solos; a liberação de gases provenientes da queima de combustíveis; os desafios no planejamento de novas rodovias diante da crescente demanda de veículos automotores, etc.

4.3. Conceitos relevantes

Além do conhecimento das diversas influências das rodovias em si, o estudo sobre as ocorrências de colisões entre animais silvestres e veículos abarca o entendimento das relações existentes entre os ambientes naturais e o sistema rodoviário.

A compreensão dos mecanismos envolvidos nos esforços para a conservação de populações e comunidades em paisagens fragmentadas por rodovias consideram algumas abordagens teóricas como a fragmentação de *hábitats*, o objeto de estudo da biogeografia, a teoria da biogeografia de ilhas e a teoria das metapopulações (MACARTUR; WILSON, 1967; HANSKI; GILPIN, 1991; MORIÁNS, 2005; PRIMACK; RODRIGUES, 2006; MACIEL, LIMA, 2011).

A ruptura na distribuição de espécies nativas da flora e nas condições ambientais causadas pela implantação de rodovias faz com que os

remanescentes de vegetação natural sejam desconectados, e essa separação é o que contribui com o processo chamado de fragmentação de *hábitats* (UNDERHILL; ANGOLD, 2000). Quando um *hábitat* dentro de uma área contínua é dividido em dois ou mais fragmentos menores, o tamanho das populações que vivem neste ambiente em particular é também afetado pelo seu isolamento e pela degradação das áreas que o margeiam (DA ROSA, 2012). Portanto, ambientes fragmentados alteram a distribuição de espécies no espaço.

As variações espaciais e as alterações na distribuição de seres vivos geradas pela implantação de empreendimentos lineares fazem parte do campo de estudo da Biogeografia. Segundo Camargo (2000), a biogeografia é uma ciência complexa, ampla e comum a várias áreas do conhecimento. O autor deixa claro, porém, que esse não é um campo exclusivo de nenhuma área e que, para a geografia, a abordagem espacial é a mais importante. Tendo em vista que a construção de rodovias modifica a distribuição espacial da cobertura vegetal, a ciência biogeográfica tem contribuído com o entendimento das influências e as causas que regem essa distribuição (LACOSTE; SALANON, 1973 *apud*. CAMARGO, 2000).

A teoria da Biogeografia de Ilhas é um exemplo da contribuição do conceito biogeográfico no campo do conhecimento. Proposta por MacArthur e Wilson, em 1967, a teoria vem sendo relacionada às comunidades cujos *hábitats* foram fragmentados, graças à semelhança que estes ambientes apresentam com as ilhas oceânicas. Isso porque, a perda de área no habitat e o isolamento gerado pela fragmentação formam uma paisagem de mosaicos compostos de ilhas de vegetação silvestre, isoladas por uma matriz de áreas modificadas. Nessa teoria, fatores como o tamanho e a proximidade entre os remanescentes de vegetação natural influenciam a diversidade de espécies em fragmentos.

Mais tarde, em 1991, Hanski e Gilpin apresentaram outra abordagem

importante: o conceito de metapopulações. Populações estabelecidas em áreas fragmentadas movimentam-se entre os fragmentos próximos. À medida que uma população é extinta em ilhas de vegetação inalteradas, o fluxo contínuo de indivíduos da mesma população entre os fragmentos faz com que estas áreas logo sejam repopuladas.

Sendo assim, partindo do pressuposto que remanescentes maiores são mais diversos e garantem menor vulnerabilidade às populações que neles habitam (PRIMACK; RODRIGUES, 2006), os fragmentos que ocupam maior área de extensão agem como fonte para a repopulação das ilhas de vegetação menores e próximas. Porém, quando as ilhas de vegetação natural são separadas por rodovias, a intensidade de fluxo de veículos pode impedir a travessia de animais silvestres, que se isolam no fragmento ou se tornam vítimas de colisão com veículos (UNDERHILL; ANGOLD, 2000). Esse isolamento é causado por um dos principais impactos observados em eixos rodoviários e estradas: o efeito barreira (DA ROSA, 2012; LESBARRERES; FAHRIG, 2012; ABRA, 2012; FORMAN *et al.*, 2003; PRIMACK; RODRIGUES, 2006). Ocorre que, indiretamente, o efeito interfere na permeabilidade de ambientes autóctones e intensifica os efeitos da fragmentação, impedindo o fluxo e a reocupação das manchas remanescentes de vegetação inalterada pela fauna.

Neste caso, levando em consideração a dinâmica das metapopulações, os conceitos relacionados à biogeografia de ilhas e as consequências do isolamento de populações em remanescentes autóctones, fatores como a proximidade e o tamanho de fragmentos podem ser relacionados com a taxa de atropelamentos de fauna silvestre em empreendimentos lineares e a taxa de extinção de espécies nos fragmentos.

Portanto, rodovias e estradas são agentes fragmentadores, contribuem com o isolamento das espécies e são meios de retirada de estoque de fauna, na ocorrência de atropelamentos (PRADO; FERREIRA; GUIMARÃES, 2006).

4.4. O Papel da Biogeografia no estudo de animais silvestres atropelados

A geografia é uma área do conhecimento ainda pouco atuante na ecologia de estradas. Ainda que tenha muito a contribuir com o objeto de estudo aqui apresentado, a atuação da geografia segue uma linha que, basicamente, se restringe à avaliação estrutural de redes de transporte rodoviário e de seus efeitos no uso do território (COFFIN, 2007).

Segundo Luís Henrique Ramos de Camargo (2005) a análise geográfica tem uma base conceitual que permite avaliar o sentido sistêmico dos problemas ambientais a partir do conceito de espaço geográfico. Para o autor, tal análise reflete a maneira como o meio técnico científico intermedeia a relação da sociedade com a natureza.

O simples levantamento de taxas de atropelamentos de animais silvestres nas proximidades de áreas especialmente protegidas não será eficaz se não levar em consideração a importância da alteração do espaço para a sociedade.

No caso, avaliamos aqui a obra de pavimentação de uma rodovia antiga que a princípio, foi construída com o intuito de facilitar o deslocamento de uma cidade a outra para o transporte de produtos advindos da extração de minerais na região (ICMBIO, 2009). Hoje, o trecho rodoviário tem o papel de facilitar o acesso às áreas naturais preservadas que servem de atrativos turísticos e que movimentam a economia local. Temos, portanto, que esses aspectos também deverão ser considerados junto à avaliação dos impactos gerados pelo uso da rodovia, uma vez que a nova estrutura rodoviária facilitará o fluxo de moradores e visitantes da região.

Outra concepção importante e que também compõe as áreas de atuação da geografia está relacionada ao estudo da biogeografia. Por se tratar de uma

ciência multidisciplinar, a biogeografia recebeu várias definições e abordagens vindas de diferentes áreas de estudo (CAMARGO, 2000). Para Brown e Lomolino (1998), a biogeografia pode ser definida como a ciência que busca documentar e compreender os padrões espaciais da biodiversidade. Já Quintanilla (1977), com um olhar geográfico, definiu a biogeografia como uma disciplina da geografia que tem o objetivo de determinar as causas que influenciam a distribuição espacial de animais e plantas no globo terrestre com relação a outros elementos do mundo físico e humano. Apesar de amplo e comum a várias ciências, como a biologia, ecologia e a geografia, o campo da biogeografia não é exclusivo de nenhuma delas (CAMARGO, 2000).

Os efeitos relacionados à presença rodovias na distribuição de espécies que vivem nas áreas influenciadas pelo empreendimento já foram discutidos acima. Faixas de rodagem de veículos são estruturas que promovem a fragmentação de áreas naturais contínuas e retiram, desse ambiente, espécimes da fauna na ocorrência de atropelamentos.

Para diminuir os danos provocados pela presença de rodovias nas proximidades de unidades conservação é importante monitorar a taxa de atropelamentos e conhecer a distribuição geográfica desse tipo de incidente. Além disso, é importante conhecer a influência da variação nas características espaciais do ambiente estudado ao longo do tempo.

Temos, portanto, que os conceitos geográficos são aplicáveis não só ao estudo da distribuição espacial de eventos que afetam a composição de espécies em unidades de conservação, como os atropelamentos de fauna, mas também à avaliação dos aspectos sociais e econômicos que podem ser considerados na tomada de decisões para promover o bem-estar social, econômico e ambiental nas áreas influenciadas pelas rodovias.

4.5. A Fauna Atropelada no Brasil

O Brasil é conhecido mundialmente pela sua megadiversidade (PRIMACK;RODRIGUES, 2006). Hoje, o país ainda dispõe de áreas contínuas de ambientes naturais com grande diversidade biológica e cultural. Porém, o avanço da agropecuária e a expansão urbana vêm modificando esses ambientes em ritmo acelerado (KLINK;MACHADO, 2005; FRANÇOSO *et al.*, 2015; HUNKE *et al.*,2015). O uso do modal rodoviário como o principal meio de transporte faz com que tais atividades estejam também relacionadas à construção de estradas e rodovias. Tal relação faz com que as vias de transporte rodoviário estejam entre os principais agentes de fragmentação de *habitats* no país (BAGER, 2007).

Segundo os dados do CNT (2015) e do IBGE (2015), os 8,5 milhões de quilômetros quadrados de extensão do território nacional são separados por cerca de 1,7 milhão de quilômetros de vias de transporte rodoviário. Ainda que os trechos rodoviários estejam concentrados nos principais polos urbanos do país (IBGE, 2014), sabe-se que suas linhas seccionam áreas autóctones contínuas por todo o Brasil. Tal fato demonstra a dimensão dos impactos de rodovias no território nacional.

Além disso, até a metade do ano vigente, no governo Dilma, os investimentos no crescimento econômico do país direcionavam recursos às construções de novos segmentos rodoviários (RODRIGUES; SALVADOR, 2011), com o intuito de diminuir os custos de transporte para as principais atividades econômicas atuais. Os impactos atrelados à construção de novas vias assim como a relação com as maiores ameaças à biodiversidade já foram discutidos acima (PRIMACK; RODRIGUES,2006).

Para tentar frear o avanço da perda na biodiversidade brasileira, uma das principais estratégias de conservação adotadas no Brasil é a criação de áreas protegidas. Dentre essas, as Unidades de Conservação (UC) têm como

objetivo principal a conservação de espaços territoriais e seus recursos ambientais com características naturais relevantes (BRASIL, 2000).

Ainda que as UC disponham de um regime especial de administração e garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000), grande parte das áreas protegidas brasileiras estão expostas às influências negativas diretas de vias de transporte rodoviário, o que inclui os atropelamentos de animais silvestres (BAGATINI, 2006; CÁCERES *et al.*, 2010; PRADO; FERREIRA; GUIMARÃES, 2006). Nas áreas delimitadas por UC, ocorrem espécies endêmicas e de pequenas populações que são as mais suscetíveis aos efeitos da fragmentação.

Ambientes fragmentados provocam o isolamento de suas populações em remanescentes de vegetação natural, fator este que facilita a ocorrência de acasalamentos consanguíneos, tornando-as suscetíveis aos problemas associados às pequenas populações, como, por exemplo, a depressão endogâmica (PRIMACK; RODRIGUES, 2006; DIXO *et al.*, 2009). Esta perda de variabilidade genética compromete a capacidade que cada população possui de se adaptar a um ambiente sob transformação, tornando-a mais vulnerável à extinção (PRIMACK; RODRIGUES, 2006; JACKSON; FAHRING, 2011; RYTWINSKI; FAHRIG, 2012). Portanto, em UC, a perda de animais por colisões com veículos geram danos significantes às populações vulneráveis cuja delimitação da área visa proteger (CÁCERES *et al.*, 2010).

Sendo assim, é importante que os esforços para a conservação de ambientes vulneráveis levem em consideração os impactos gerados pela retirada de estoque de fauna em decorrência de atropelamentos, que interferem de forma negativa no estabelecimento de populações e comunidades silvestres.

Tendo em vista esta preocupação, estudos buscaram esclarecer os efeitos negativos gerados às áreas protegidas. Bagatini (2006) apresentou em

sua tese de mestrado um estudo feito nas quatro rodovias que circundam a Estação Ecológica de Águas Emendadas – DF junto de uma análise de eficácia das medidas mitigadoras utilizadas no local. A autora chegou a conclusão de que o atropelamento de animais tem um efeito significativo para populações de espécies ameaçadas no local.

Prado, Ferreira e Guimarães (2006) obtiveram resultados similares em seu estudo. Os autores realizaram levantamentos de animais atropelados na BR-153/GO-060, que corta o Parque Ecológico Altamiro de Moura Pacheco, e concluíram que a presença de rodovias é um dos agentes de fragmentação do parque e que os atropelamentos ocorridos na estrada são fatores de retirada do estoque de fauna do local.

Os mecanismos que influenciam a ocorrência de colisões entre veículos e animais silvestres costumam ser estudados e comparados em busca de esclarecimentos a respeito dos efeitos do atropelamento de fauna nas populações para a conservação, assim como a aplicação de medidas mitigadoras efetivas para evitar os efeitos negativos da perda de fauna por atropelamentos.

Estas influências são citadas por Da Rosa e Bager (2013) que revisaram os fatores subjacentes aos mecanismos e efeitos de rodovias em vertebrados. Nesse trabalho, os autores citam alguns mecanismos que variam os índices de atropelamento de fauna em rodovias: a colisão entre veículos e animais silvestres, a aversão à superfície da via, ao barulho e aos veículos e a atração às rodovias são alguns exemplos de mecanismos que, atrelados às características das rodovias, foram relacionados, pelos autores, aos efeitos ecológicos de estradas na vida silvestre.

4.6. A fauna atropelada em diferentes superfícies

Os efeitos de atropelamentos de animais silvestres em diferentes superfícies ainda são pouco estudados. Segundo os dados do CNT (2015), cerca de 76% das vias brasileiras de transporte rodoviário são de estradas ainda não pavimentadas. Portanto, a maior parte das vias que influenciam os ambientes naturais brasileiros ainda não recebeu pavimentação.

Figueiredo, Lima e Soares (2014) analisaram a taxa e a distribuição de atropelamentos de fauna em diferentes tipos de vias para cada classe de vertebrados. O estudo foi conduzido em quatro rodovias adjacentes a 11 UC localizadas no DF e no entorno. Os resultados indicaram que as rodovias com duas faixas e as rodovias pavimentadas foram os tipos de empreendimentos que apresentaram as maiores taxas de atropelamentos.

Braz e França (2016), incluíram o tipo de superfície como um dos atributos relacionados às quatro classes de vertebrados atropelados na rodovia GO-239, objeto de estudo do presente trabalho. Os autores correlacionaram a classe de mamíferos ao trecho onde a estrada ainda não possuía a cobertura de asfalto.

Portanto, ao se implementar novas infraestruturas de transporte rodoviário nas proximidades de áreas de grande importância ecológica, como UC, deve-se acompanhar e avaliar quais os efeitos para a diversidade de espécies silvestres que habitam o local.

5. PASSOS METODOLÓGICOS

5.1. Área de estudo

O presente estudo foi conduzido na rodovia GO-239, no trecho que liga o município de Alto Paraíso de Goiás ao distrito de São Jorge. Ambos os perímetros urbanos são conectados pela via e estão localizados no estado de Goiás, aproximadamente, 260 quilômetros de Brasília (figura1).

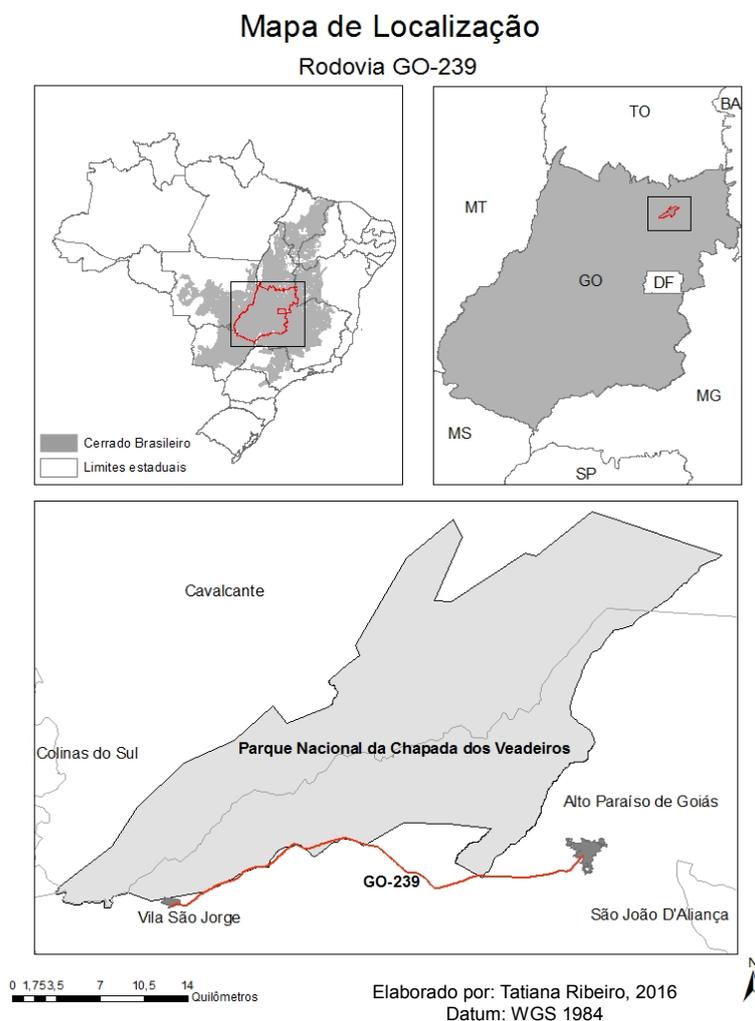


Figura 1: Localização do trecho da rodovia GO-239. Dados sobrepostos à área de extensão do PNCV (ICMBIO, 2015), aos limites municipais e aos perímetros urbanos ligados pelo trecho amostrado.

A microrregião da Chapada dos Veadeiros compreende uma área de 21.475,60 quilômetros quadrados de extensão (DE LIMA; FRANCO, 2014) e está localizada na região central do país, ao nordeste do estado de Goiás. A Chapada dos Veadeiros está inserida na bacia do rio Tocantins e é caracterizada por um clima tropical com estação seca bem definida (entre os meses de maio e agosto) e um período chuvoso com precipitações mensais acima dos 100 mm (BRAZ; FRANÇA, 2016).

Os ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e a beleza da microrregião foram importantes para a delimitação de uma área para a criação do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV; BRASIL, 2000). Desde a sua inauguração, em 1961, a extensão do parque sofreu uma série de modificações até chegar aos 65.514 ha atuais (ICMBIO, 2009).

Por estar próximo à Brasília, o PNCV está exposto às influências de uma rede viária relativamente densa (ICMBIO, 2009). Dentre as rotas que compõem essa rede, as rodovias GO-239 e GO-118 são as principais vias estaduais que margeiam o PNCV (ICMBIO, 2009). A GO-239 é uma rodovia transversal extensa que percorre cerca de 12 municípios (AGETOP-GO, 2015b) e é a principal via de acesso aos portões do PNCV. A rota de acesso à unidade de conservação tem cerca de 36 quilômetros de extensão. O trecho utilizado como objeto de estudo é recém-pavimentado e está compreendido entre o perímetro urbano de Alto Paraíso de Goiás e o distrito de São Jorge. As obras de asfaltamento ocorreram em leito já existente, com o recapeamento de um trecho de cerca de 24 quilômetros e a pavimentação dos 12 quilômetros restantes até a entrada da vila São Jorge.

Os pontos A e B, delimitados no trecho da rodovia que liga a cidade à vila, conforme a figura 2, indicam o trecho de terra que recebeu nova pavimentação.



Figura 2: Trecho da rodovia GO-239 onde ocorreram as campanhas de amostragem. O trecho que não tinha pavimentação está compreendido entre os pontos A (lat: -14.134247; long: -47.710010) e B (lat: -14.178066; long.: -47.813017) da rodovia. Os dados foram sobrepostos à área de extensão do PNCV (ICMBIO, 2015).

5.2. Métodos de coleta

As amostragens foram realizadas no trecho da rodovia estadual GO-239 onde ocorreram as obras da primeira etapa da pavimentação (entre Alto Paraíso de Goiás e a vila São Jorge).

Campanhas diurnas e noturnas ocorreram ao longo de 14 meses (de uma a sete coletas realizadas em intervalos de quinze dias). O trecho foi percorrido em um veículo com velocidade fixa pré-definida de 50 km/h. No percurso, quatro pessoas ficaram responsáveis pela visualização de carcaças na rodovia. Cada vez que uma carcaça era avistada, registros fotográficos dos animais mortos foram obtidos para a posterior identificação e o local foi georreferenciado em aparelho GPS (Garmin – 62s; Garmin - etrex H).

Tendo em vista que a identificação de animais mortos depende do estado de conservação das carcaças encontradas e que esta pode ser comprometida pelo estado avançado de decomposição, pela desfiguração ou ausência de partes importantes para a avaliação, a identificação dos animais foi realizada no menor nível taxonômico possível.

Os indivíduos identificados em nível de espécie foram classificados em relação ao seu *status* de conservação no Livro Vermelho da Fauna Ameaçada de Extinção, publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2008), e no Atlas da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção em Unidades de Conservação Federais (ICMBIO, 2011).

5.3. Análise das características espaciais

Algumas características da área que compõe as margens do trecho estudado (áreas de mata/floresta; pasto; perímetro urbano ou solo exposto; campo, cerrado e corpos d'água) foram identificadas e relacionadas às ocorrências de atropelamentos visando a avaliação dos efeitos da implantação da infraestrutura rodoviária e os efeitos sobre os *hábitats* no PNCV.

Para a delimitação e segmentação da área de estudo, o trecho em análise foi percorrido em veículo automotor. A cada quilômetro, um ponto foi marcado em aparelho GPS (Garmin - etrex H). Os pontos georreferenciados foram plotados em mapa de formato vetorial e sobrepostos à camada em linha do trecho estudado utilizando o *software* ArcGis v.10.3. Circunscrita ao vetor do trecho rodoviário, foi calculada uma área, com origem no segmento da via e raio de 2000 metros com o auxílio da ferramenta *buffer*. Os pontos obtidos nortearam o recorte da área produzida. Destaca-se que, para análise da paisagem, foram considerados os pontos inicial e final do eixo rodoviário estudado. Para possibilitar a análise das qualidades espaciais que podem

influenciar a ocorrência de atropelamentos nos segmentos que iniciam e finalizam o trecho analisado da rodovia, foram definidas 39 parcelas (figura 3).

Delimitação da Área de Estudo

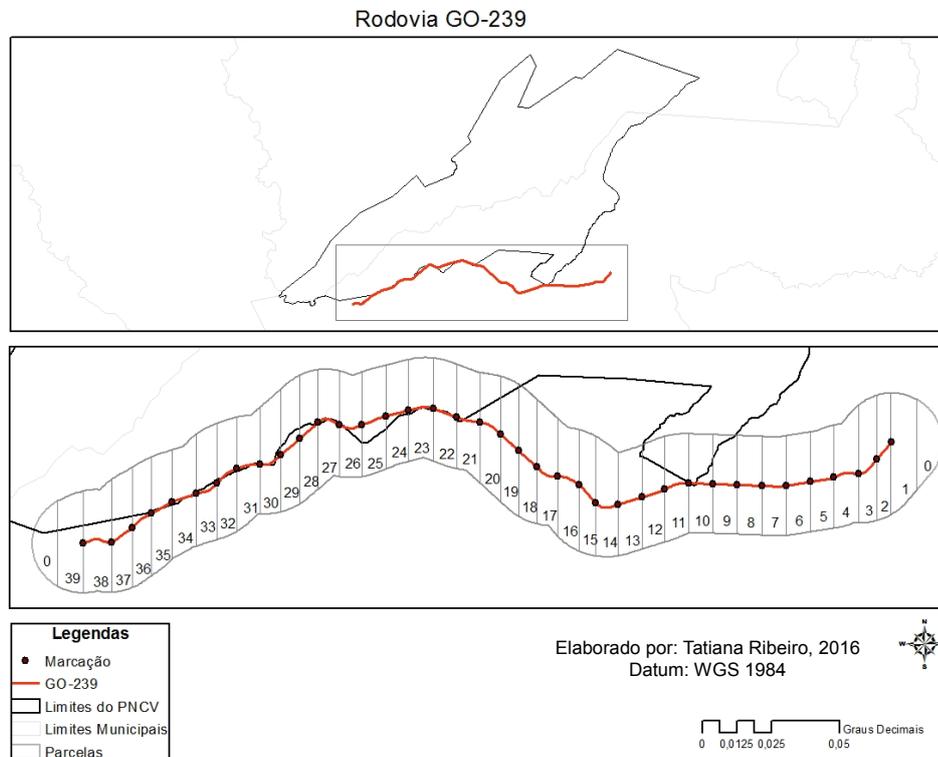


Figura 3: Recorte e delimitação da área de estudo. Os dados foram sobrepostos à extensão do PNCV (ICMBIO, 2015) e aos limites municipais (BRASIL, 2014b).

Para a definição dos atributos da paisagem, as características físicas observadas nas margens do trecho da rodovia amostrada foram classificadas na área delimitada. Os atributos das margens consideraram todas as 39 parcelas e seguiram a seguinte classificação: vegetação nativa predominante na mancha (Campo/Cerrado/Mata/Floresta), cursos d'água (Rios/Córregos), áreas modificadas (Solo exposto/Perímetro urbano) e predominância de vegetação antrópica (Pastagem).

Após a análise da imagem, o dado de saída foi recortado e restringido à área de 2000 metros circunscrita ao traçado da rodovia e segmentada em 39 parcelas (Figura 4).

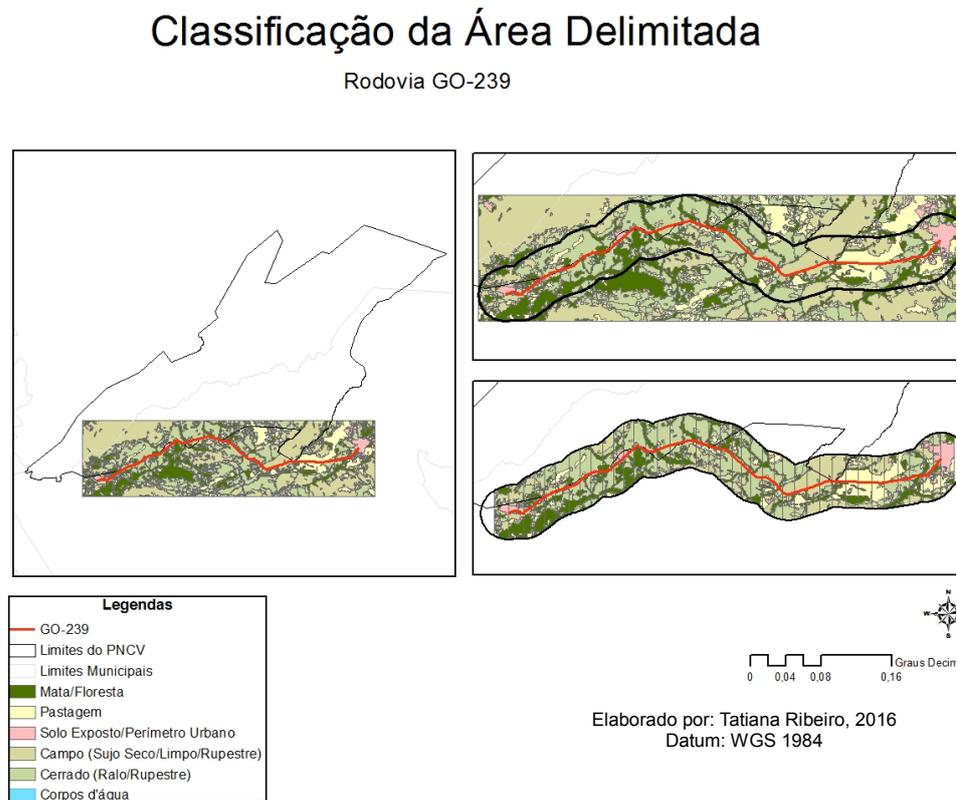


Figura 4: Delimitação da área classificada. Dados sobrepostos às camadas da área de extensão do PNCV e aos limites municipais.

5.4. Análise dos dados

5.4.1. Frequência de atropelamentos

A frequência de atropelamentos foi calculada pela razão entre o número de amostras coletadas e os quilômetros percorridos durante o estudo.

5.4.2. Análise das distribuições de eventos em relação aos dados

aufertos

Para verificar se há diferenças nas distribuições espaciais de eventos o teste *Mann-Whitney U* foi realizado no *software* SPSS v.24 em dois conjuntos de dados: um antes (fração de dados brutos utilizados em BRAZ;FRANÇA, 2016) e outro após a implementação de nova estrutura rodoviária no trecho estudado.

Os autores Vivian da Silva Braz e Frederico França realizaram levantamentos de dados de atropelamentos em segmentos das rodovias GO-118 e GO-239 entre os anos de 2006 e 2009. Parte da base de dados gerada pelo levantamento foi analisada e publicada em estudo posterior (BRAZ;FRANÇA, 2016). Os dados brutos foram disponibilizados pelos autores para a realização do presente trabalho. Para as análises, apenas parte do banco de dados levantado no trecho de interesse da GO-239 foi utilizada. Ademais, para garantir a comparação de espaços amostrais semelhantes ao presente estudo, somente os levantamentos auferidos entre os meses de julho de 2007 e setembro de 2008 foram utilizados.

5.4.3. Distribuição espacial de eventos

As ocorrências de atropelamentos podem estar distribuídas de forma não-aleatória no trecho amostrado. Nesse caso, poderão existir segmentos da rodovia onde os registros de atropelamentos estarão mais próximos uns dos outros. Essa aglomeração de eventos indica a existência de trechos que podem representar o risco maior de ocorrência de incidentes. No presente estudo, a avaliação da significância de agrupamentos foi realizada a partir da estatística K de Ripley 2D (COELHO; KINDEL; COELHO, 2008).

Tal técnica cria circunferências de raios crescentes centralizados

em cada evento e avalia as distâncias entre eles somando a ocorrência de encontros nas áreas criadas. Assim, é possível verificar a intensidade de agregação dos eventos amostrados em diversas escalas (COELHO *et al.*, 2014).

O método utilizado não lineariza o traçado da rodovia. Dessa forma, as distâncias calculadas refletem as influências do traçado do trecho, da composição e da estrutura da paisagem que será analisada mais a frente.

Feito isso, é possível identificar os trechos onde os eventos seguem uma distribuição não-aleatória significativa e onde ocorrem aglomerações.

Os segmentos da rodovia que apresentam uma concentração significativa de incidentes registrados são conhecidos na literatura como pontos quentes ou *hotspots* de atropelamentos (COELHO; KINDEL; COELHO, 2008; COELHO *et al.*, 2014). No presente estudo, os trechos da rodovia GO-239 com significativa aglomeração de registros também foram identificados com as ferramentas disponíveis no *software Siriema* versão 2.0.

5.4.4. Relação entre os registros de atropelamentos e a paisagem que compõe as margens da rodovia

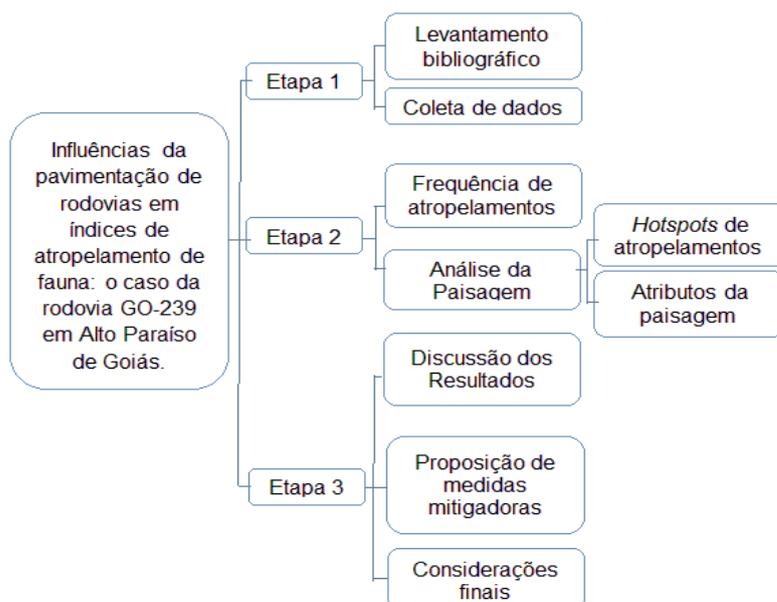
Os dados levantados no estudo foram sobrepostos às características que compõem as margens dos trechos com ocorrências de atropelamentos. As características avaliadas nas parcelas adjacentes à rodovia GO-239 foram: atributos da paisagem, distância do fragmento mais próximo e área total das manchas que compõem a paisagem das parcelas que envolvem o segmento em questão.

As qualidades espaciais das margens das rodovias e os registros de atropelamentos foram correlacionados utilizando a técnica de correlação de Pearson. A relação entre as variáveis foi avaliada com a realização de análises de regressão linear múltipla (*stepwise*). Todos os métodos aplicados foram realizados no *software* SSPS v.24.

5.4.5. **Discussão sobre as medidas a serem tomadas para a mitigação dos impactos**

Com base nos dados obtidos, medidas mitigadoras que podem contribuir de maneira efetiva com a diminuição de atropelamentos de animais silvestres na rodovia estudada foram discutidas, com o intuito de embasar possíveis alternativas que, se aplicadas, poderão contribuir com a diminuição das taxas de perda de fauna no trecho estudado.

5.5. Organograma



6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Índices de atropelamentos de fauna

6.1.1. Relação de espécies encontradas

Conforme as informações obtidas da base de dados disponibilizada pelos autores do estudo realizado na GO-239 antes das intervenções no traçado (BRAZ;FRANÇA, 2016), foram percorridos 5112 quilômetros e realizadas 71 coletas entre os meses de julho de 2007 e setembro de 2008. Desta forma, foram cumpridas 143 amostragens pelos autores, nas quais: 134 registros foram identificados em nível taxonômico de espécie, 2 de gênero e 4 em nível de família. Três indivíduos não foram identificados. Os dados obtidos estão descritos na tabela I.

Tabela I: Relação de espécies e indivíduos atropelados na rodovia GO-239 em amostragens realizadas entre julho de 2007 e setembro de 2008 (adaptado: BRAZ; FRANÇA, 2016).

Répteis		
<i>Ameiva ameiva</i>	Calango-verde	1
<i>Bothrops moojeni</i>	Jararaca	4
<i>Bothrops neuwiedi</i>	Jararaca-pintada	6
<i>Chironius flavolineatus</i>	Cobra-cipó	1
<i>Crotalus durissus</i>	Cascavel	7
<i>Epicrates cenchria</i>	jibóia-arco-íris	2
<i>Lystrophis nattereri</i>	Hognose	1
<i>Oxybelis aeneus</i>	Cobra-cipó	1
<i>Oxyrhopus guibei</i>	Falsa-coral	1
<i>Oxyrhopus rhombifer</i>	Falsa-coral	5
<i>Oxyrhopus trigeminus</i>	Falsa-coral	2
<i>Philodryas patagoniensis</i>	Cobra-cipó	2
<i>Philodryas aestivus</i>	Cobra-verde	2
<i>Philodryas olfersii</i>	Cobra-verde	1
<i>Philodryas nattereri</i>	Corre-campo	2
<i>Phimophis guerini</i>	Mussurana	3
<i>Polychrus acutirostris</i>	Lagarto-preguiça	8
<i>Pseudoboa nigra</i>	Mussurana	1
<i>Sibynomorphus mikanii</i>	Jararaca-dormideira	1
<i>Thamnodynastes sp.</i>	Cobra-espada	1
<i>Waglerophis merremi</i>	Boipeva	1
Testudine NI		1
Não Identificado		
NI		3
<hr/>		
<i>Thraupis palmarum</i>	Sanhaçu-do-coqueiro	1
<i>Volatinia jacarina</i>	Tiziu	3
Columbidae NI		1
Tyranidae NI		1
Anfíbios		
<i>Rhinella rubescens</i>	Cururu-vermelho	1
<i>Dendropsophus phaeopleura</i>	Perereca	1
<i>Hypsiboas pseudopseudis</i>	Perereca	1
<i>Hypsiboas albopunctatus</i>	Perereca-de-pintas-amarelas	2
<i>Leptodactylus fuscus</i>	Rã	3
<i>Physalaemus cuvieri</i>	Sapo-cachorro	1
<i>Rhinella schneideri</i>	Sapo-cururu	6
Mamíferos		
<i>Caluromys lanatus</i>	Cuica-lanosa	1
<i>Cavia aperea</i>	Preá	11
<i>Cerdocyon thous</i>	Cachorro-do-mato	1
<i>Conepatus semistriatus</i>	Jaritataca	6
<i>Lycalopex vetulus</i>	Raposinha-do-campo	1
<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	Tamanduá-bandeira	1
<i>Proechimys roberti</i>	Echimideo	1
<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Tapiti	1
Muridae NI	Rato do mato	2

Nos levantamentos executados no presente trabalho, foram percorridos 6.912 quilômetros, entre os meses de julho de 2015 e setembro de 2016, realizadas 96 coletas com 295 amostragens, das quais: 188 registros foram identificados em nível taxonômico de espécie, 42 de gênero, 20 de família, 18 entre ordens e subordens, e 27 em nível de classe. Os dados obtidos estão descritos na tabela II.

Tabela II: Relação de espécies e indivíduos atropelados na rodovia GO-239 em amostragens realizadas entre julho de 2015 e setembro de 2016.

Espécies	Nome Comum	N
Aves		
<i>Ammodramus humeralis</i>	Tico-tico-do-campo	4
<i>Arremon flavirostris</i>	Tico-tico-de-bico-amarelo	2
<i>Athene cunicularia</i>	Coruja-buraqueira	1
<i>Brotogeris chiriri</i>	Periquito-de-encontro-amarelo	1
<i>Cairina moschata</i>	Pato-selvagem	1
<i>Caracara plancus</i>	Carcará	1
<i>Colaptes campestris</i>	Pica-pau-do-campo	1
<i>Colibri serrirostris</i> cf.	Beija-flor-de-orelha-violeta	1
<i>Crypturellus parvirostris</i>	Inhambu-chororó	2
<i>Elaenia</i> sp.		11
<i>Emberizoides herbicola</i>	Canário do campo	6
<i>Eupetomena macroura</i>	Beija-flor-tesoura	1
<i>Furnarius figulus</i>	Casaca-de-couro-da-lama	1
<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	Pia-cobra	1
<i>Guira guira</i>	Anu branco	1
<i>Hydropsalis albicollis</i>	Bacurau	4
<i>Knipolegus lophotes</i>	Maria-preta-de-penacho	1
<i>Mimus saturninus</i>	Sabiá-do-campo	5
<i>Neothraupis fasciata</i>	Cigarra-do-campo	3
<i>Nystalus chacuru</i>	João-bobo	3
<i>Phaethornis pretrei</i>	Rabo-branco-acanelado	3
<i>Piranga flava</i>	Sanhaçu-de-fogo	1
<i>Pitangus sulphuratus</i>	Bem-te-vi	1
<i>Rhynchotus rufescens</i>	Perdiz	3
<i>Saltator similis</i>	Trinca-ferro-verdadeiro	1
<i>Sicalis flaveola</i>	Canário-da-terra-verdadeiro	9
<i>Sicalis</i> sp.	Canário	1
<i>Sporophila albogularis</i>	Golinho	2
<i>Sporophila leucoptera</i>	Chorão	2
<i>Sporophila</i> sp.	Papa-capim	11
<i>Tangara cayana</i>	Saira-amarela	2
<i>Tangara palmarum</i> cf.	Sanhaçu-do-coqueiro	1
<i>Thamnophilus torquatus</i>	Choca-de-Asa-Vermelha	3
<i>Volatina jacarina</i>	Tiziu	5
<i>Zonotrichia capensis</i>	Tico-tico	5
Ave NI		23
Anfíbios		
Anura NI		10
<i>Eupemphix nattereri</i> cf.	Cuiaba Anão	1

Hylidae NI	Perereca	5
<i>Hypsiboas albopunctatus</i>	Perereca-de-pintas-amarelas	1
<i>Hypsiboas lundii</i>	Perereca-usina	2
<i>Leptodactylus labyrinthicus</i> cf.	Rã-pimenta	2
<i>Leptodactylus</i> sp.	Rã	2
<i>Rhinella cerradensis</i> cf.	Cururu-do-cerrado	1
<i>Rhinella granulosa</i>	Sapo-cururu	2
<i>Rhinella rubescens</i>	Cururu-vermelho	6
<i>Rhinella schneideri</i>	Sapo-cururu	21
<i>Rhinella</i> sp.	Sapo	15
Mamíferos		
<i>Canis familiaris</i>	Cachorro doméstico	2
<i>Cedocyon thous</i>	Cachorro do mato	2
<i>Chrysocyon brachyurus</i>	Lobo-guará	1
<i>Coendou prehensilis</i>	Ouriço-cacheiro	1
<i>Conepatus semistriatus</i>	Jaritataca	1
<i>Felis catus</i>	Gato doméstico	1
<i>Glossophaga soricina</i>	Morcego	1
<i>Gracilinanus agilis</i>	Cuíca	4
<i>Nasua nasua</i>	Quati	3
Muridae NI	Rato do mato	8
Molossidae NI	Morcego	1
<i>Lamproncyteris brachyotis</i> cf.	Morcego	1
Phyllostomidae NI	Morcego	2
Stenodermatinae NI	Morcego	2
Mamifero NI		4
Répteis		
<i>Ameiva ameiva</i>	Calango-verde	3
<i>Apostolepis ammodites</i>	Falsa-coral	1
<i>Bothrops marmoratus</i>	Jararaca	1
<i>Bothrops moojeni</i>	Caiçaca	1
<i>Chironius flavolineatus</i>	Cobra-cipó	1
<i>Crotalus durissus</i>	Cascavel	9
<i>Epicrates cenchria</i>	Jiboia arco-íris	1
<i>Leptodeira annulata</i>	Olho-de-gato	1
<i>Mastigodryas bifossatus</i>	Jaracuçu-do-brejo	2
<i>Ophiodes striatus</i>	Cobra-de-vidro	1
<i>Oxyrhopus rhombifer</i>	Falsa Coral	1
<i>Oxyrhopus trigeminus</i>	Falsa Coral	7
<i>Philodryas nattereri</i>	Cobra-cipó-marrom	13
<i>Philodryas patagonensis</i>	Parelheira	1
<i>Polychrus acutirostris</i>	Lagarto-preguiça	7
<i>Sibynomorphus mikanii</i>	Jararaca-dormideira	7
<i>Tantilla melanocephala</i>	Cobra-da-terra	1
<i>Tropidurus</i> sp.	Lagarto	2
Boidae NI		1
Lacertilia NI		2
Ophidia NI		6

As amostragens executadas pelos autores de Braz e França (2016) e que geraram a base de dados utilizada no presente estudo foram realizadas antes que as obras na GO-239 fossem iniciadas. Portanto, a via que dá acesso ao PNCV não havia sofrido as intervenções e as mudanças estruturais em todo o segmento que dá acesso à vila São Jorge. Além disso, o traçado ainda contava com um trecho de 12 quilômetros de estrada de terra. Nos dados obtidos pelos autores (Tabela I), a classe mais abundante é a dos répteis, com 54 registros pertencentes a 22 espécies diferentes. Porém, a classe das aves apresentou a maior riqueza, com 46 ocorrências referentes a 26 espécies distintas. A classe dos anfíbios abarcou o menor número de marcações, com 15 indivíduos registrados alusivos a sete espécies.

A base de dados disponibilizada conta com amostragens em diferentes segmentos das rodovias GO-239 e GO-118. Dentre os dados obtidos nos dois traçados e em dois anos de amostragens, é possível observar registros de indivíduos classificados no livro vermelho de espécies brasileiras ameaçadas de extinção (BRASIL, 2014), como o Lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*) e a Anta brasileira (*Tapirus terrestris*). Destas informações, o espaço amostral selecionado para a realização do presente estudo conta apenas com os registros colhidos no trecho de interesse da rodovia GO-239 entre os anos de 2007 e 2008. Nas informações selecionadas, observa-se o registro de um Tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), classificado como vulnerável na lista oficial vigente de espécies ameaçadas de extinção (BRASIL, 2014).

Para os levantamentos realizados entre os anos de 2015 e 2016 (Tabela II), após as obras na rodovia, a classe das aves é a mais diversa e a mais abundante, com 37 espécies identificadas e 124 espécimes, seguida da classe dos répteis, com 69 indivíduos pertencentes à 22 espécies. A classe dos mamíferos, com 34 ocorrências alusivas a 15 espécies, apresentou o menor número de registros. Porém, nessa classe, destaca-se

o registro de um Lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*; Apêndice 23), classificado como vulnerável na lista nacional de espécies ameaçadas de extinção (BRASIL, 2014).

Ainda, os dados levantados antes das intervenções no eixo rodoviário apresentam riqueza relativa superior aos dados auferidos após a implantação do novo pavimento. Os 143 indivíduos encontrados entre os anos de 2007 e 2008, pertencem a 65 diferentes níveis taxonômicos (0,46 espécies por registro). Quanto aos levantamentos realizados entre 2015 e 2016, foram registrados 295 atropelamentos, identificados em 86 diferentes táxons (0,29 espécies por registro). Destaca-se, porém, que 15,5% das amostras obtidas após a pavimentação não foram identificadas em nível de espécie e que a riqueza relativa auferida no presente trabalho deve ser avaliada com cautela, já que parte das identificações foi realizada apenas com a análise de chaves de identificação e baseada na literatura disponível.

6.1.2. Frequências de atropelamentos

As frequências de atropelamentos foram confrontadas aos mesmos índices obtidos por Braz e França (2016; tabela III).

Tabela III: Frequências de atropelamentos (N/Km) para registros obtidos na rodovia GO-239 entre os anos de 2007 e 2008 (BRAZ; FRANÇA, 2016); e entre os anos de 2015 e 2016.

Vertebrados	2007-2008 (5112 km)			2015-2016 (6192 km)		
	N	Frequência (N/km)	Intervalo de incidência (1/f)	N	Frequência (N/km)	Intervalo de incidência (1/f)
Todos	143	0,028	35,75	295	0,043	23,43
Anfíbios	15	0,003	340,08	68	0,010	101,65
Aves	46	0,009	111,13	124	0,018	55,74
Mamíferos	25	0,005	204,48	34	0,005	203,29
Répteis	54	0,011	94,67	69	0,010	100,17

Destaca-se que as frequências de atropelamentos são obtidas a partir da razão entre as marcações registradas e o número de vezes que o trecho estudado foi percorrido. Portanto, refletem quantos registros foram obtidos a cada quilômetro amostrado.

Nas informações descritas na tabela III observa-se que as frequências de atropelamentos ocorridos antes da obra de pavimentação na rodovia são inferiores aos mesmos índices auferidos após a instalação da nova infraestrutura rodoviária. Todavia, a classe dos répteis apresenta valores muito próximos nos dois períodos de coleta, com intervalos de incidência de 94,67 km/evento para os dados obtidos antes da implementação do novo trecho, e 100,7 km/evento para as informações coletadas após a conclusão das obras. Ademais, as frequências de incidentes envolvendo mamíferos é a mesma nos dois períodos analisados (0,005).

Conforme os dados apresentados na tabela III, observa-se que foram auferidos mais registros de atropelamentos por quilômetro percorrido após as obras de pavimentação na GO-239. Ademais, a depender da acurácia nas identificações, os registros obtidos entre os anos de 2015 e 2016 apresentam menor riqueza e maior abundância de espécies (Tabelas I e II). É importante destacar que a realização do presente trabalho em diferentes períodos, as distinções na superfície rodoviária e o fato de os levantamentos terem sido realizados por pesquisadores diferentes podem gerar variações nos levantamentos de dados. Além disso, as mudanças nas frequências de atropelamentos observadas também podem ser influenciadas por eventos sazonais, como períodos de reprodução de determinadas espécies ou queimadas durante a estação seca.

Ainda assim, a frequência de atropelamentos é uma grandeza

que auxilia no entendimento dos efeitos das alterações no eixo rodoviário em conjunto com as demais análises a serem feitas. Por hora, verifica-se que os valores apresentados no período mais recente trabalhado (0,043 animais/km) corresponde a 44,7% do índice obtido em 2 anos de amostragens no traçado completo da mesma rodovia (0,096 animais/km; BRAZ;FRANÇA, 2016). Tal fato pode indicar que as variações no levantamento de dados são discretas e que as distinções observadas podem estar também relacionadas às transformações ambientais geradas pela construção na autoestrada.

6.2. Distribuição espacial de eventos

Para avaliar os pontos críticos de atropelamentos é necessário verificar de que forma os incidentes estão distribuídos no trecho estudado. As análises de distribuição de eventos com a estatística K de Ripley, para cada classe taxonômica e em levantamentos realizados antes e depois da pavimentação completa do trecho amostrado podem ser observadas nos gráficos apresentados na figura 5. Esta análise considera que as probabilidades de ocorrências de atropelamentos são as mesmas em todo o segmento rodoviário onde os levantamentos de dados foram realizados.

K-Ripley

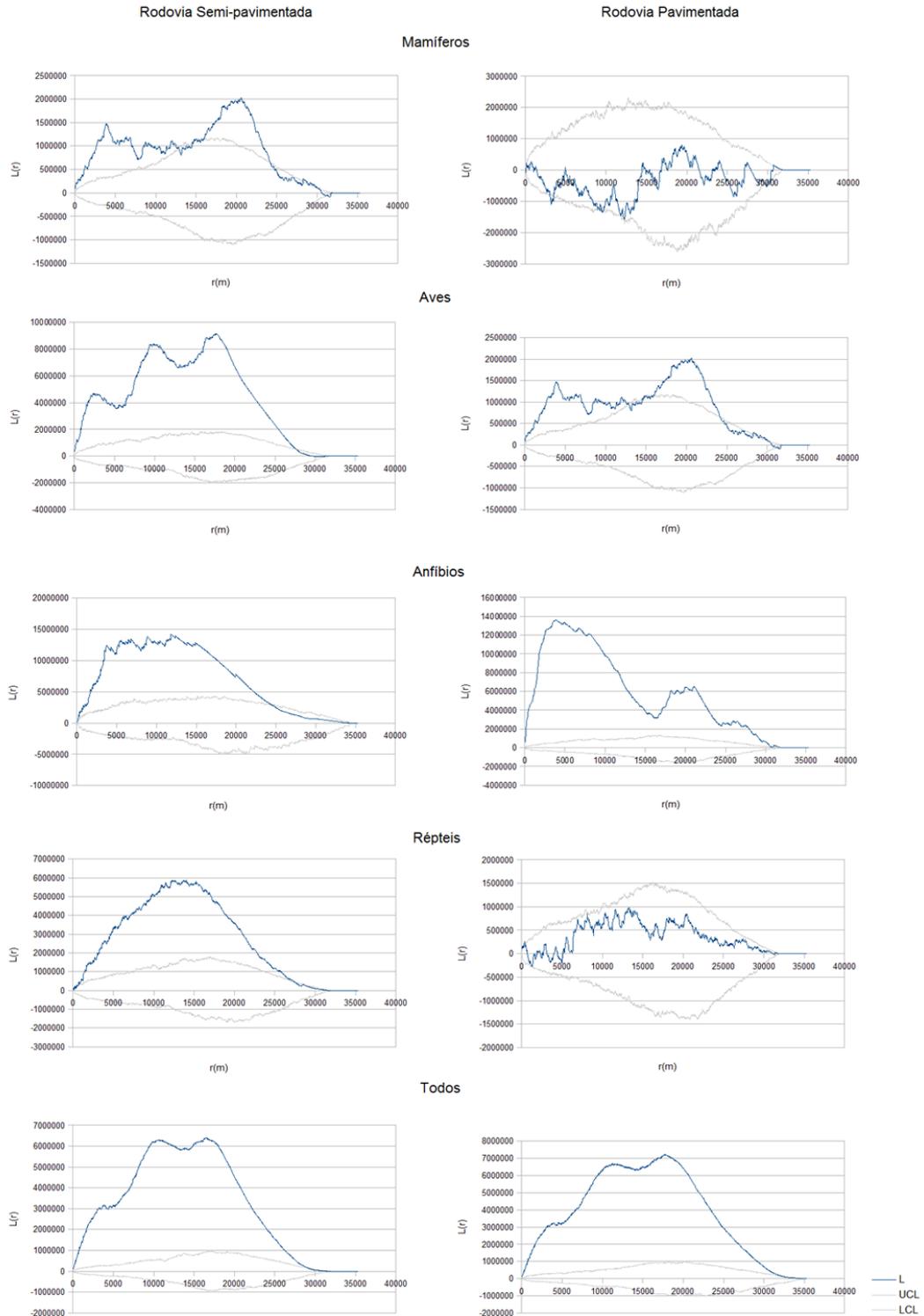


Figura 5: Análise K Ripley 2D para as classes dos mamíferos, aves, anfíbios e répteis antes e depois das obras na rodovia GO-239. Em que $L(r)$ é a diferença entre as estatísticas K esperada e observada para a escala de raio (r) em metros. Os limites de confiança superior e inferior estão representados em linhas cinzas e as linhas em azul representam a função $L(r)$ (COELHO *et al.*, 2014).

Os resultados gerados pela análise dos dados coletados entre os anos de 2007 e 2008, descrevem aglomerações significativas em todos os grupos analisados. Os gráficos ilustram máximas de agrupamentos entre 15 e 20 quilômetros de raio. Os elementos apresentados não apresentam dispersões significativas em nenhum dos grupos analisados.

Nos dados obtidos após a obra de pavimentação, observa-se que as classes dos mamíferos e dos répteis não apresentaram aglomerações significativas de eventos. Nessas classes, os conjuntos de dados apresentaram aglomerações pequenas e que vão pouco além do intervalo de confiança estipulado (95%), indicativos de agrupamentos ou dispersões discretas e pouco representativas. Nas demais classes, os conjuntos de dados apresentaram agrupamentos significantes entre zero e 35 quilômetros de tamanho de raio, sem dispersões importantes.

Ainda que não tenha havido evidências estatísticas suficientes para se diferenciar os conjuntos de dados coletados nos grupos dos mamíferos e dos répteis, entre os anos de 2015 e 2016, é possível verificar que existem diferenças nas distribuições espaciais dos eventos registrados em diferentes espaços temporais. Ou seja, tem-se que nas informações auferidas antes da pavimentação de todo o trecho amostrado, o gráfico gerado pelo teste K de Ripley 2D apresenta picos de aglomerações significativas entre os quilômetros três e cinco e os quilômetros 22 e 25 do segmento amostrado. Já nos dados levantados após a conclusão das obras, as duas funções encontram-se dentro do intervalo de confiança definido (95%) e, portanto, não apresentaram resultados significativos. Desta forma, as aglomerações que antes eram observadas nos dois grupos amostrados são, no período atual, discretas e podem ser atribuídas às distribuições aleatórias de eventos.

6.2.1. Hotspots de atropelamentos

Para as análises de *hotspots* de atropelamentos foram avaliados apenas os conjuntos de dados que apresentaram aglomerações significativas de registros. Nas coletas realizadas após as obras na rodovia, apenas as classes das aves e dos anfíbios auferiram resultados representativos na análise estatística K de Ripley 2D, isso indica que as distribuições de registros auferidas após as obras de pavimentação da rodovia não apresentaram agrupamentos representativos para os dados referentes às classes dos mamíferos e dos répteis. Desta forma, para o conjunto de informações levantadas no presente trabalho, não é possível identificar os pontos quentes de atropelamentos nas duas classes taxonômicas em questão.

A escala de avaliação da análise foi definida considerando o resultado da distribuição espacial de atropelamentos com raios iniciais de 35 m. A área que margeia os *hotspots* identificados foi segmentada a cada quilômetro percorrido na rodovia. As parcelas adjacentes aos pontos quentes foram selecionadas e destacadas para a posterior avaliação das relações existentes entre os atributos da paisagem e os trechos críticos produzidos na análise. Os resultados obtidos estão discriminados na figura 6.

Pontos Quentes de Atropelamentos

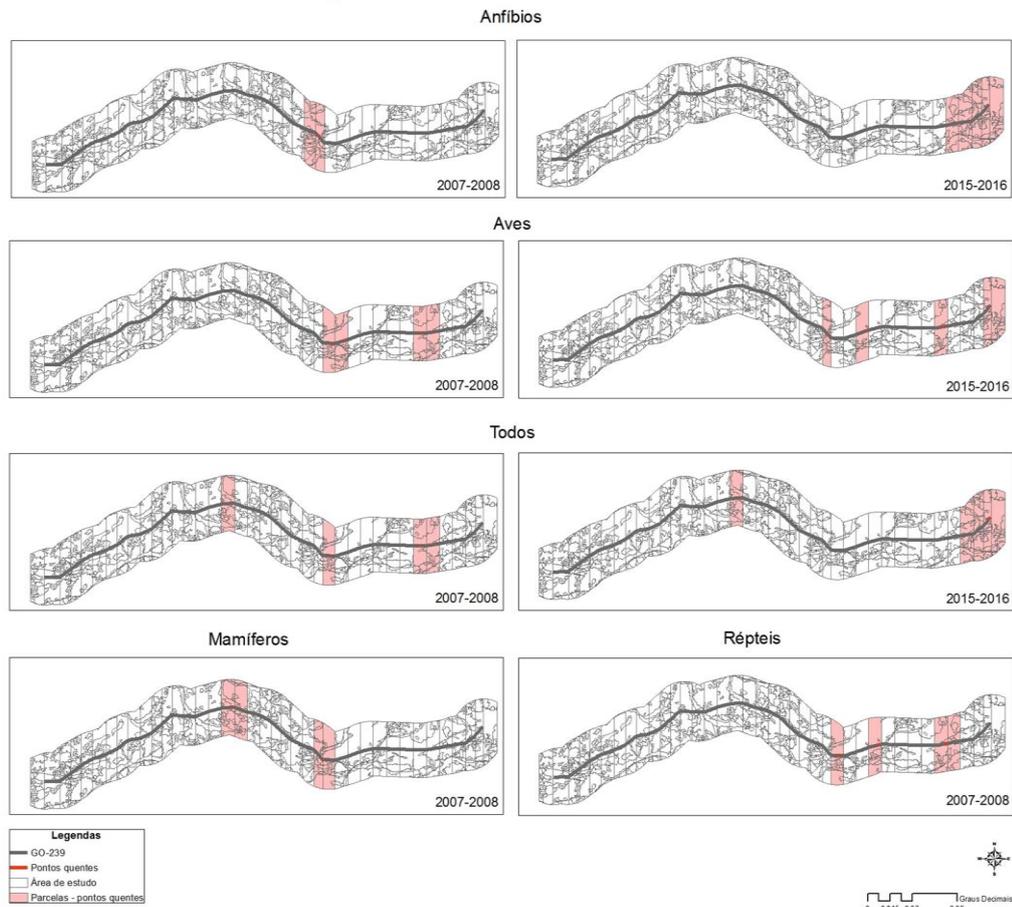


Figura 6: Pontos quentes de atropelamentos identificados na rodovia GO-239 nos dois diferentes períodos de coleta realizados. Os dados estão sobrepostos à área de estudo. As parcelas adjacentes aos trechos críticos estão destacadas em vermelho. As classes dos mamíferos e répteis referem-se apenas aos dados auferidos por Braz e França (2016) entre os anos de 2007 e 2008.

Os trechos críticos gerados pela análise estão distribuídos entre os primeiros 22 quilômetros da rodovia (figura 6). É possível identificar mudanças na distribuição das aglomerações em todas as classes taxonômicas avaliadas. Nos anfíbios, as alterações nos trechos críticos são facilmente observadas. Para essa classe, as ocorrências de atropelamentos registradas antes das obras de pavimentação estão concentradas nos quadrantes 15 e 16. As margens dos segmentos críticos são próximas à ponte do rio das Cobras e são irrigadas por corpos d'água

e afluentes do rio. Já as marcações geradas pela análise dos dados levantados após a pavimentação estão localizadas entre os primeiros cinco quilômetros da rodovia, área próxima ao perímetro urbano da cidade de Alto Paraíso Goiás.

Ainda na figura 5 é possível observar que os pontos quentes identificados ante e pós-pavimentação para a classe das aves apresentam semelhanças nas parcelas 6, 12, 13 e 15. As áreas adjacentes aos segmentos identificados possuem fragmentos extensos de vegetação antrópica (pastagem), mata ciliar nativa e cerrado, irrigadas por córregos afluentes do rio das Cobras e zonas de alagamento intermitente. Porém, apenas os dados auferidos após as obras na rodovia apresentaram pontos quentes nos primeiros quilômetros do traçado.

Quanto às análises realizadas em todas as amostragens, sem a distinção das classes taxonômicas amostradas, os resultados obtidos estão localizados nas parcelas 22 e 23, semelhantes às áreas adjacentes aos *hotspots* identificados nas classes dos anfíbios e das aves antes das intervenções na rodovia. Porém, observam-se diferenças entre os trechos críticos gerados nas parcelas próximas à área urbana de Alto Paraíso de Goiás. Os dados levantados entre os anos de 2007 e 2008 geraram *hotspots* de mortalidade distribuídos nas parcelas 6, 7 e 14. Já as informações coletadas entre os anos de 2015 e 2016 produziram um segmento de 3 quilômetros com altas taxas de atropelamentos centrado no início da rodovia.

Ainda que, para as classes dos mamíferos e dos répteis, a distribuição dos dados auferidos após a obra de pavimentação não tenha apresentado aglomerações importantes, os levantamentos realizados antes das modificações no trecho geraram resultados. Quanto aos mamíferos, os pontos quentes de mortalidade podem ser observados nas parcelas 14, 15, 22 e 23. As parcelas adjacentes são as mesmas áreas que

margeiam os trechos críticos obtidos na análise que não diferenciou os táxons amostrados e na análise das aves, ao se trabalhar com as informações amostradas antes do curso das obras no traçado.

Para os répteis, os dados obtidos são muito semelhantes aos *hotspots* gerados na análise de registros de aves atropeladas após a intervenção na rodovia, com exceção do segmento que marca o início do trecho rodoviário.

Em suma, os trechos críticos de atropelamentos detectados apresentam semelhanças quando sobrepostos (figura 6). Porém, todos os pontos quentes auferidos entre os anos de 2015 e 2016 possuem segmentos marcados como críticos para mortalidade muito próximos ao perímetro urbano de Alto Paraíso de Goiás, indicativo de que a mudança na infraestrutura de transporte pode ter afetado o modo com que as espécies pertencentes às classes de vertebrados analisadas utilizam rodovia. Tal observação será retomada mais adiante, e será discutida junto aos resultados obtidos nas relações encontradas entre os aglomerados de atropelamentos e os atributos da paisagem adjacente à rodovia.

6.3. Classificação da paisagem que compõe as margens da rodovia

A classificação da paisagem que integra a área de estudo foi realizada por meio da interpretação e do processamento de imagem Landsat TM (2008). A imagem foi trabalhada no *software* ArcGis v.10.3 com a ferramenta de análise de máxima verossimilhança, classificando o dado de entrada em seis atributos distintos: mata, pastagem, solo exposto/perímetro urbano, campo, cerrado e corpos d'água (Figura 7).

Classificação da Paisagem

Área de Influência GO-239

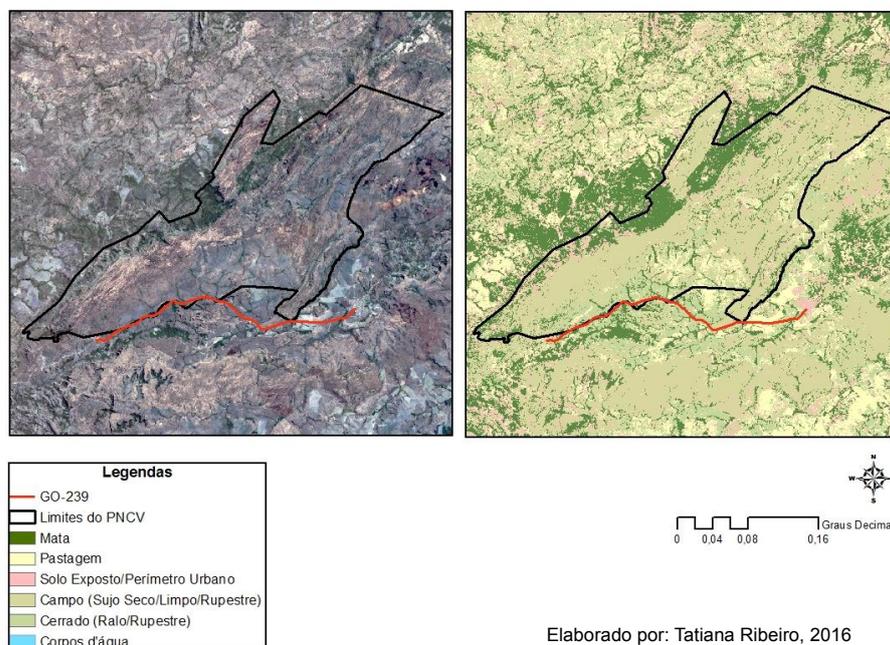


Figura 7: Classificação da paisagem na área trabalhada. Para a localização, as camadas do segmento rodoviário trabalhado e a área de extensão do PNCV foram sobrepostos à imagem dos resultados.

As obras de pavimentação de uma rodovia alteram as áreas adjacentes ao traçado da pista (FORMAN *et al.*, 2003; DA ROSA, 2012). No trecho onde a rodovia ainda não era pavimentada, é possível observar áreas de solo exposto em suas margens (Apêndices 33 a 37). Porém, as imagens obtidas por satélite Landsat TM, mesmo sendo indicadas para a avaliação dos atributos da paisagem que compõe a área de estudo, não são ideais para a análise de modificações espaciais em pequenas escalas. Portanto, em concordância com os objetivos principal e específicos do trabalho, que buscam avaliar as possíveis mudanças nos índices de atropelamentos de fauna na rodovia, considerou-se uma composição fixa da paisagem. Ainda que haja alterações com o passar dos anos, a composição média geral da

paisagem, em grandes escalas e no período trabalhado (8 anos), não apresenta grandes flutuações (PORTO; LINHERAS; NETO, 2011).

As informações referentes ao número de fragmentos e porcentagem da área delimitada em cada uma das 39 parcelas e para cada classe da paisagem estão descritos na Tabela IV. Mais adiante, os dados de ocorrência de atropelamentos, antes e depois das obras de pavimentação da via, para cada e para todas as classes taxonômicas, serão sobrepostos às parcelas classificadas das margens adjacentes e correlacionados aos atributos da paisagem.

Tabela IV: Relação de número de fragmentos (N) e porcentagem da área delimitada (%) para cada uma das 39 parcelas que segmentam a área de estudo. Os valores totais referem-se aos fragmentos e porcentagens de toda a área delimitada desconsiderando a divisão em parcelas.

CLASSIFICAÇÃO DA PAISAGEM												
(nº de fragmentos e porcentagem da área delimitada)												
Parcelas	Mata		Pastagem		P. urbano/SE		Campo		Cerrado		Corpos d'água	
	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)
1	5	13,08	9	21,85	4	46,75	7	7,69	5	10,49	2	0,13
2	3	9,69	7	20,38	5	30,01	10	21,53	3	18,15	4	0,24
3	6	13,81	11	32,21	6	14,62	10	24,51	7	13,05	16	1,80
4	9	25,40	13	13,25	6	2,08	5	22,94	12	34,63	28	1,70
5	12	27,03	4	18,86	0	0,00	5	16,57	6	36,82	27	0,72
6	3	13,84	2	31,28	1	2,11	9	21,77	6	30,27	6	0,73
7	4	4,25	6	51,11	2	1,41	3	33,92	5	8,85	6	0,46
8	5	14,31	5	55,63	3	2,07	4	22,78	3	5,21	0	0
9	10	21,87	7	51,49	4	3,36	6	14,52	2	7,97	12	0,79
10	13	19,57	4	23,26	5	2,28	3	51,40	5	2,29	16	1,20
11	5	10,53	2	0,62	1	0,48	2	75,29	5	12,47	6	0,61
12	7	7,33	11	2,43	0	0,00	10	87,14	3	2,28	30	0,83
13	10	10,30	3	15,82	0	0,00	8	38,49	9	34,02	13	1,37
14	7	8,61	5	4,50	1	1,38	4	19,53	9	65,43	6	0,56
15	6	14,40	5	13,82	2	0,98	6	12,64	10	57,57	7	0,58
16	4	21,60	6	23,84	6	4,82	5	7,23	11	42,52	0	0
17	3	19,92	4	8,57	2	1,74	2	0,88	8	68,89	0	0
18	7	19,00	4	2,84	1	0,47	6	8,89	13	68,80	0	0
19	10	19,98	5	6,68	0	0,00	9	23,89	14	49,45	0	0
20	11	24,63	5	4,15	2	1,68	8	16,60	8	52,94	0	0
21	6	23,18	10	13,52	0	0,00	11	18,05	8	44,64	8	0,60
22	8	12,33	2	4,55	1	2,74	9	29,96	5	49,83	4	0,58
23	9	28,08	2	1,99	1	0,22	7	27,55	7	41,76	2	0,40
24	9	24,02	1	0,56	0	0,00	7	16,58	5	58,84	0	0
25	8	15,11	3	5,23	0	0,00	5	7,23	6	72,43	0	0
26	8	29,72	4	2,90	0	0,00	5	2,17	8	65,20	0	0
27	7	43,18	1	0,31	2	0,85	4	2,63	9	52,84	2	0,19
28	5	33,02	2	1,40	2	5,15	9	12,14	7	47,64	2	0,65
29	7	30,92	0	0,00	4	11,69	6	21,53	12	35,51	4	0,35
30	3	22,68	3	4,30	5	3,24	2	21,53	12	47,73	10	0,53
31	6	28,61	3	2,24	1	0,83	1	13,33	13	54,41	6	0,58
32	6	20,71	4	5,79	0	0,00	2	1,15	10	71,72	8	0,63
33	5	21,39	3	4,62	3	2,06	4	1,82	5	69,44	8	0,66
34	10	28,76	6	13,53	8	3,91	5	11,27	8	41,81	16	0,71
35	8	33,92	5	9,46	7	3,02	7	17,65	5	35,28	6	0,68
36	10	39,80	3	5,10	8	6,61	16	21,95	7	26,03	4	0,51
37	12	40,55	4	5,66	5	6,69	24	31,49	2	15,07	8	0,55
38	7	33,01	4	5,75	5	11,64	14	41,96	5	7,06	4	0,58
39	10	30,73	5	4,13	4	12,09	9	33,28	13	19,59	2	0,18
TOTAL	284	22,13	183	12,62	107	4,81	269	22,26	291	37,66	273	0,52

6.4. Análise dos dados

6.4.1. Diferenças nas amostragens realizadas antes e após as obras na rodovia

Os dados obtidos em levantamentos realizados antes e depois das obras de pavimentação da rodovia foram plotados em mapa vetorial, sobrepostos aos limites estaduais e aos limites do PNCV (Figura 8). O mapa permite visualizar a distribuição de atropelamentos em cada e em todas as classes taxonômicas, nos diferentes períodos de execução das amostragens.

Registros de Atropelamentos

Rodovia GO-239

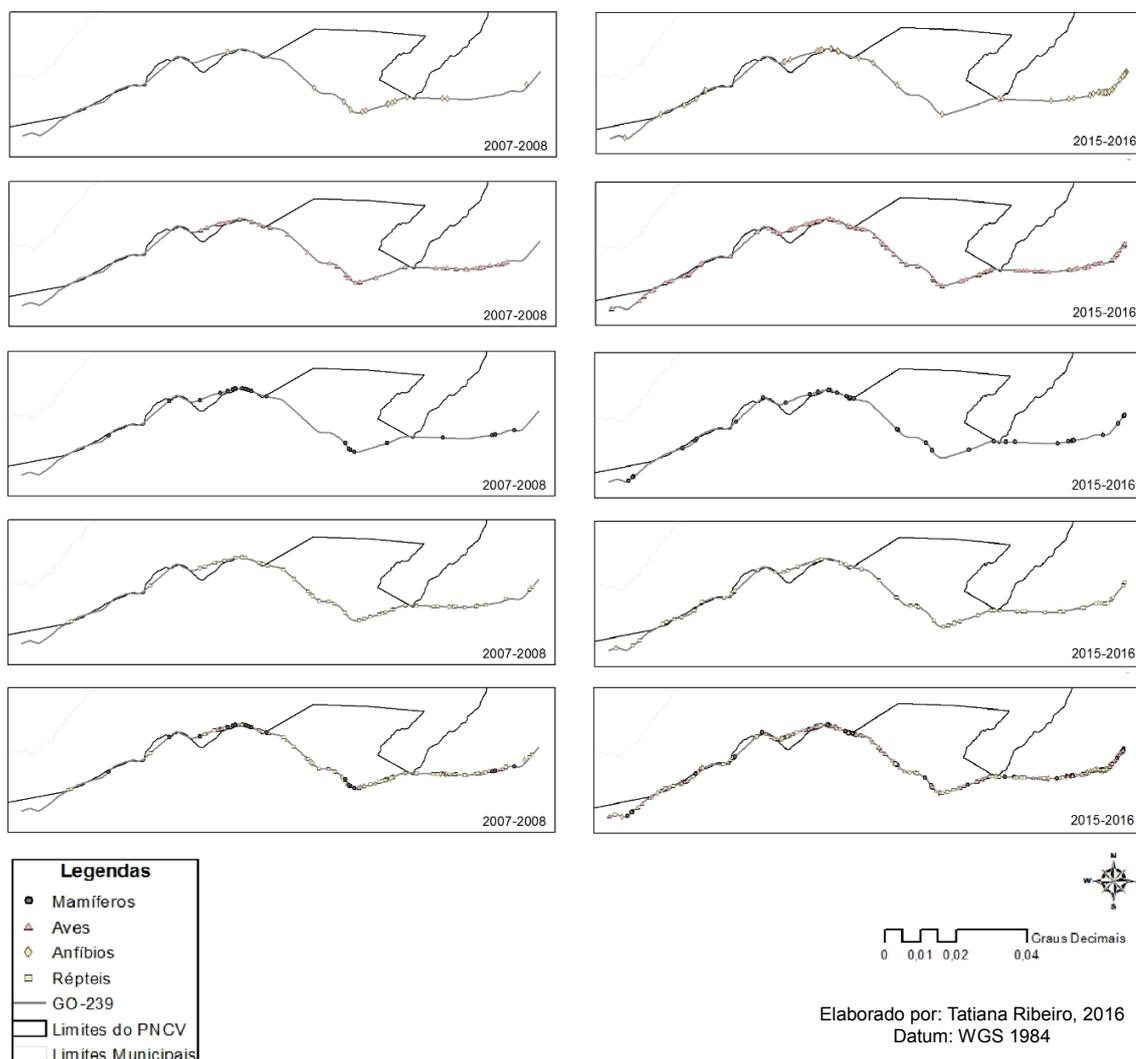


Figura 8: Registros de atropelamentos obtidos antes (à esquerda) e após (à direita) as obras na rodovia. Dados sobrepostos à extensão do PNCV.

Para verificar se existem diferenças significantes nos levantamentos realizados, o teste não paramétrico de Mann-Whitney U foi realizado nas distribuições de eventos registrados apenas nas 36 parcelas que cobrem o traçado da rodovia. Os testes foram efetuados por classe taxonômica amostrada e em todos os eventos juntos, divididos em dois grupos: um antes e outro após as intervenções estruturais no trecho de 36 quilômetros. O teste é baseado no ranqueamento de dados e é utilizado para

testar a hipótese nula, que afirma que as médias populacionais são as mesmas para os dois grupos independentes testados.

O resultado auferido em todos os registros obtidos (sem distinção de classes; Tabela V) indica que a estatística teste Mann-Whitney $U = 452.000$ e tem significância (P-valor) de 0,027. Portanto, a hipótese nula é rejeitada e conclui-se que há evidência estatística de diferenças entre os grupos de dados de ocorrências de atropelamentos e que os dois grupos não foram extraídos de uma mesma população.

O mesmo teste foi realizado par a par, em vias de identificar possíveis diferenças entre as classes taxonômicas dos registros obtidos antes e depois das mudanças no espaço estudado. A estatística teste de Mann-Whitney U para as classes das aves e dos anfíbios foram, respectivamente, de 361.000 e 452.000 e apresentaram P-valores de 0.013 e 0.01 de significância. A hipótese nula é rejeitada nos dois casos, indicando a existência distinções significantes entre os registros obtidos antes e depois das obras na rodovia.

Tabela V: Resultados do teste U de Mann-Whitney para cada e para todas as classes amostradas .

Estatísticas de teste U de Mann-Whitney					
	Mamíferos	Aves	Anfíbios	Répteis	Todos
U de Mann-Whitney	564.500	361.000	452.000	627.000	452.000
Wilcoxon W	1230.500	1027.000	1118.000	1293.000	1118.000
Z	-1.023	-3.285	-2.492	-.239	-2.212
Significância Assint. (Bilateral)	.307	.001	.013	.811	.027

Nas classes dos mamíferos e dos répteis, porém, os resultados obtidos (tabela V) apontam significâncias assintóticas bilaterais superiores ao $\alpha=0,05$. Portanto, a hipótese nula é aceita, não havendo evidências estatísticas que indiquem diferenças entre os conjuntos de dados testados.

A rejeição da hipótese nula no teste indica a possibilidade de existirem dessemelhanças entre as medianas das populações de onde as amostras foram extraídas. Portanto, em suma, os resultados gerados indicam que os conjuntos de dados levantados antes e após as mudanças e a pavimentação do traçado apresentam distinções significativas quando analisados por inteiro e, quando segmentados por classe taxonômica amostrada, apresentam diferenças significantes nas classes das aves e dos anfíbios.

6.4.2. Relações entre os pontos registrados e os atributos da paisagem adjacente aos hotspots de atropelamentos identificados

O atropelamento não é apenas consequência da presença concomitante de um espécime silvestre e de um veículo em trânsito no mesmo local. Existem fatores que influenciaram de forma significativa a ocorrência desse incidente. Esses fatores podem estar relacionados às características do ambiente próximo, da fauna atropelada e da rodovia. A soma desses fatores resulta em mecanismos capazes de atrair ou espantar os animais dos locais que representam alto risco de colisão com veículos (DA ROSA; BAGER, 2013). Para a avaliação de medidas mitigadoras eficientes e que vão de encontro com as características do local, esses mecanismos devem ser avaliados.

Quando nos referimos às características do ambiente adjacente, ou seja, às margens das rodovias, consideramos as fitofisionomias dominantes, se esse ambiente dificulta a visibilidade ou a locomoção do animal ou se proporciona algum recurso ambiental importante. Quanto às características do animal, considera-se a área de vida, o comportamento, a capacidade de dispersão, a abundância da espécie, etc.

As rodovias possuem também algumas características que

podem ser relacionadas à fauna atropelada. Dentre essas, pode-se citar o número de faixas, o tipo de pavimentação, a presença ou ausência de infraestruturas de transporte rodoviário (como as estruturas de drenagem e de iluminação), a presença de curvas, taludes nas margens, o limite de velocidade no trecho, o fluxo médio de veículos, etc.

Portanto, quando um evento de aglomeração de atropelamentos é identificado em um trecho de rodovia, deve-se avaliar os fatores que os influenciam e verificar de que forma o fluxo de animais nessa área pode ocorrer sem que hajam incidentes.

Para avaliar as possíveis influências da pavimentação, os registros de atropelamentos de animais silvestres, antes e depois das obras na rodovia, foram correlacionados às características da paisagem adjacente à pista, visando assim, identificar possíveis diferenças. O espaço estudado foi delimitado por uma área de 2000 m que circunscreve o traçado da rodovia (vide métodos). As variáveis espaciais avaliadas foram: atributos da paisagem (mata, pastagem, área urbana/solo exposto, campo, cerrado e corpos d'água), número de fragmentos por parcela, soma das áreas totais de fragmentos, distância do fragmento mais próximo e altitude do local registrado.

O estudo das inter-relações existentes entre as variáveis escolhidas foi desenvolvido pela aplicação da correlação de Pearson. No método utilizado, apenas os valores com coeficientes de correlação linear significantes ($P < 0,05$) foram selecionados para o estudo das variáveis identificadas na classificação das margens da rodovia.

Na estatística, métodos de análises multivariadas como a regressão são amplamente utilizados. Quando as relações entre as variáveis de um determinado fenômeno são conhecidas, é possível estabelecer um modelo matemático de predição, em que uma variável

dependente é linearmente explicada por uma ou um conjunto de variáveis independentes. O estudo das relações entre as variáveis também pode auxiliar na identificação de fatores que afetariam a distribuição ou ocorrência do fenômeno estudado. No presente estudo, busca-se avaliar quais variáveis podem ser relacionadas aos índices de atropelados nos trechos identificados com altas concentrações de eventos e em todo o segmento trabalhado.

Na análise, os registros de atropelamentos auferidos antes e após as obras de pavimentação da rodovia foram definidos como as variáveis a serem explicadas pelas características do espaço classificadas. Na primeira verificação, apenas os dados registrados nas parcelas adjacentes aos trechos de *hotspots* foram utilizados nas regressões. Depois, as informações de todas as parcelas adjacentes ao traçado foram avaliadas.

Os resultados das análises nas áreas onde foram localizados *hotspots* geraram 13 modelos distintos: dois para a classe dos mamíferos, quatro para as aves, quatro para os anfíbios, um para os répteis e quatro para todos os registros identificados. Após a verificação da normalidade e da análise dos resíduos extraídos, seis modelos foram selecionados. Além disso, para cada grupo de variáveis explicadas, apenas os modelos com os maiores coeficientes de correlação foram avaliados.

As modelagens escolhidas relacionam-se às ocorrências de atropelamentos nas parcelas críticas identificadas apenas quando analisadas as classes dos mamíferos ($R^2=0,837$ $F=20,59$ $p=0,001$) e todas as ocorrências auferidas antes da pavimentação da rodovia ($R^2=0,800$; $F=15,990$; $p=0,002$). Após a conclusão das obras, os modelos explicam os incidentes envolvendo a classe dos anfíbios ($R^2=0,763$; $F=29,043$; $p \approx 0,000$) e a todas as classes ($R^2=0,409$; $F=6,235$; $p=0,034$). Os coeficientes padronizados de regressão para cada um dos modelos escolhidos e suas respectivas variáveis explicativas para as parcelas adjacentes às

aglomerações de eventos identificadas estão descritos na tabela VI.

Tabela VI: Coeficientes de regressão padronizados e as respectivas variáveis explicativas para as informações levantadas antes e após a pavimentação da rodovia.

Hotspots	Mamíferos	Anfíbios	Todos	
	2007-2008	2015-2016	2007-2008	2015-2016
Variáveis	β_i (SE)	β_i (SE)	β_i (SE)	β_i (SE)
Área				
Perímetro urbano/SE cerrado	0,396 (0,11)		-0,588 (0,37)	
N				
Floresta	0,645 (0,19)			
Perímetro urbano/SE		0,874 (0,35)		0,640 (0,93)
Distância				
cerrado			-0,521 (0,0)	

Nos resultados produzidos pela análise das qualidades espaciais de parcelas que contornam os trechos de *hotspots* identificados (tabela VI), observa-se que o número de fragmentos de área urbana ou alterada possuem relação positiva com os índices de atropelamentos de anfíbios ($0,874 \pm 0,35$) e com todos os registros amostrados ($0,640 \pm 0,93$) após o término das obras de pavimentação da rodovia GO-239. Porém, quando avaliadas as informações auferidas por Braz e França (2016), nota-se uma relação inversa entre a soma das áreas de extensão dos fragmentos de perímetro urbano ou de solo exposto e todos os dados de atropelamentos levantados ($-0,588 \pm 0,37$). Ademais, os índices de incidentes amostrados

entre os anos de 2007 e 2008 apresentam correlações harmônicas com os ambientes naturais. Verifica-se que os registros referentes à classe dos mamíferos apresentaram relações positivas com a extensão das áreas de cerrado ($0,396 \pm 0,11$) e de ambientes florestais ($0,645 \pm 0,19$). No mesmo período, observa-se uma correlação positiva entre a proximidade de fragmentos de cerrado e todos os registros de atropelamentos obtidos ($-0,521 \pm 0,00$). De acordo com esse resultado, pode-se dizer, portanto, que os registros de incidentes ficaram mais frequentes em ambientes cujas distâncias entre o trecho rodoviário e o fragmento de vegetação nativa foram menores.

Em suma, nos resultados produzidos, nota-se que os índices de atropelamentos de fauna auferidos após as obras de pavimentação da rodovia e o perímetro urbano de Alto Paraíso de Goiás, quando avaliados todos os dados amostrados e a classe dos anfíbios, estão positivamente relacionados. Tal relação não é observada quando verificadas as informações levantadas entre os anos de 2007 e 2008.

6.5. Possíveis influências da Rodovia GO-239 à diversidade de espécies

Os dados adquiridos nas análises realizadas evidenciam semelhanças entre as aglomerações de eventos nos dois períodos trabalhados. Porém, quando observadas as amostragens feitas entre os anos de 2015 e 2016, observa-se que os *hotspots* de atropelamentos estão localizados em áreas próximas ao perímetro urbano de Alto Paraíso de Goiás. Para mais, os resultados demonstram correlações positivas entre as qualidades estruturais de fragmentos urbanos e os índices de atropelamentos de anfíbios e todos os registros apurados no eixo rodoviário trabalhado após a conclusão das obras.

Perturbações no espaço podem interferir na relação estabelecida entre

a fauna e o ambiente modificado (FORMAN *et al.*, 2003; JACKSON; SAX, 2010; HUNKE *et al.*, 2015). Sabe-se que a construção de uma rodovia altera de forma direta a superfície do empreendimento. Porém, indiretamente, a forma como a rodovia é utilizada, tanto pela fauna quanto pela população humana também é alterada.

Na literatura, a aversão às áreas antrópicas por parte da fauna é amplamente discutida (CUNHA; MOREIRA; SILVA, 2010; PRADO; FERREIRA; GUIMARÃES, 2006). Prado, Ferreira e Guimarães (2006), ao avaliarem os efeitos da implantação de rodovias no Cerrado brasileiro, encontraram a redução na frequência de atropelamentos da fauna silvestre em ambientes menos preservados e relacionaram seus resultados à potencial aversão destes animais às regiões antropizadas. Cunha, Moreira e Silva (2010) também identificaram incidências maiores de atropelamentos de fauna em regiões não urbanizadas, mas relacionaram este resultado à fragmentação da paisagem. Segundo os autores, áreas com menor influência humana são também menos fragmentadas, e portanto, nestes locais, o trânsito de animais silvestres é maior.

A concentração de atropelamentos observada em segmentos rodoviários próximos ao perímetro urbano não é esperada, pois a fauna silvestre costuma evitar ambientes modificados e com grande presença humana (BAGATINI, 2006; BAUTISTA *et al.* 2003, PRADO; FERREIRA; GUIMARÃES, 2006; CUNHA; MOREIRA; SILVA, 2010). Todavia, no presente estudo, foi observado que os registros levantados por Braz e França (2016) podem apresentar riqueza relativa de espécies atropeladas superior aos registros levantados no presente trabalho (tabelas I e II). Portanto, existem indicativos de que os *hotspots* de atropelamentos identificados na rodovia após as obras de pavimentação foram obtidos a partir de um conjunto de dados com maior abundância e menor diversidade de espécies. Fato este que indica uma possível redução na diversidade biológica amostrada.

Quanto às mudanças no leito rodoviário, é importante destacar que o trecho inicial do segmento trabalhado já era pavimentado e que, após as obras na GO-239, não houve modificações significativas nesse espaço. Porém, a implantação do novo pavimento permitiu que os motoristas empregassem altas velocidades em todo o percurso que liga a cidade de Alto Paraíso de Goiás à vila São Jorge. Além disso, o acostamento da rodovia GO-239 é também uma ciclovia que foi ampliada e melhorada na primeira etapa de construção da rodovia e, agora, se estende por toda a via estudada. Hoje, a ciclofaixa é comumente usada por moradores e visitantes da região.

Sabe-se que mecanismo de aversão ao ambiente rodoviário por parte de algumas espécies pode também ser relacionado ao fluxo de veículos em alta velocidade e à presença humana na faixa de rodagem (DA ROSA; BAGER, 2013; FORMAN, *et al.*, 2003; COELHO *et al.*, 2012). Estudos indicam que fluxos intensos de veículos podem alterar o comportamento de algumas espécies que vivem em *hábitats* próximos às estradas (DA ROSA; BAGER, 2013; BAUTISTA *et al.* 2003; UNDERHILL; ANGOLD, 2000; CASE, 1978; TROMBULAK; FRISSELL, 2000). Bautista *et al.* (2003), analisaram os efeitos da variação no fluxo de tráfego de veículos no comportamento de aves de rapina durante os finais de semana, em uma rodovia amplamente utilizada, em Madri, na Espanha, em viagens curtas para cidades próximas. Os autores identificaram três espécies de aves que evitaram as regiões próximas às rodovias durante os finais de semana, quando o tráfego de veículos era quase o dobro do observado em dias úteis. Underhill e Angold (2000), revisaram os efeitos das rodovias na vida silvestre em paisagens extremamente fragmentadas e afirmaram que rodovias com fluxo intenso de veículos restringem a movimentação de algumas espécies de animais silvestres e que, mesmo em níveis diferentes, todas as rodovias agem como barreiras na travessia entre fragmentos separados por empreendimentos lineares. Ainda segundo os autores, a intensidade do tráfego e a largura das vias, além da ecologia das espécies influenciadas pela faixa de rodagem de veículos, foram

relacionados à intensidade do efeito de barreira exercido pela rodovia (VAN DER REE *et al.*, 2011; UNDERHILL; ALGOLD, 2000).

O efeito barreira é um dos impactos mais preocupantes na implantação de uma estrutura rodoviária, pois afeta a permeabilidade das áreas naturais (FORMAN *et al.*, 2003; DA ROSA, 2012). Se espécies autóctones passam a evitar o ambiente rodoviário em questão, elas podem ficar isoladas em fragmentos menores de áreas nativas. O isolamento por sua vez propiciaria a ocorrência de acasalamentos consanguíneos e a geração de genes deletérios (PRIMACK; RODRIGUES, 2006), fatores que afetam negativamente a população e a manutenção da espécie no local. Além disso, as mudanças no comportamento das espécies em áreas próximas às rodovias poderiam afetar de forma negativa os períodos reprodutivos. O som de veículos transitando pode gerar interferências na comunicação entre algumas espécies de aves e anuros, cujos cantos têm papel importante nas épocas de reprodução. Como a interferência sonora é maior em fluxos intensos de veículos, variações na intensidade de tráfego podem interferir e ainda influenciar na escolha de parceiros (UNDERHILL; ALGOLD, 2000; VAN DER REE *et al.*; 2011).

As alterações observadas nos registros de atropelamentos que antecedem e procedem as obras na GO-239 podem, portanto, estar relacionadas às mudanças no uso do espaço como consequência do resultado das obras na rodovia. É possível que as alterações na estrutura rodoviária e a alteração na velocidade empregada por motoristas na via tenham interferido no comportamento de espécies que habitam as áreas adjacentes ao traçado e afetado a permanência de indivíduos menos tolerantes às mudanças nas proximidades da faixa de rolamento (JAEGER *et al.*, 2005). No caso, o novo modo com que o ambiente rodoviário vem sendo utilizado por motoristas e pedestres poderia influenciar o uso da rodovia por parte da fauna, fazendo com que apenas espécies mais tolerantes à presença humana habitassem as imediações do trecho rodoviário. Desse modo, mais espécies resistentes às perturbações antrópicas podem ter sido auferidas nas

proximidades do perímetro urbano de Alto Paraíso de Goiás nos levantamentos realizados entre os anos de 2015 e 2016.

Para espécies menos afetadas pela presença humana, a proximidade dos trechos críticos ao ambiente urbano pode ser justificada pela maior disponibilidade de recursos nessas áreas (PERRY *et al.*, 2008; COELHO *et al.*, 2012). Ao estudarem as taxas de atropelamentos de anuros nas proximidades de uma reserva ambiental da mata atlântica brasileira, Coelho *et al.* (2012), argumentam sobre a disponibilidade de recursos alimentares em rodovias para espécies tolerantes ao ambiente rodoviário. Segundo os autores, as luzes artificiais do empreendimento atraem insetos, fator que promove a concentração de algumas espécies de anfíbios nesses locais.

O trecho rodoviário da GO-239 não possui iluminação artificial em todo o traçado. Porém, as áreas próximas ao perímetro urbano de Alto Paraíso de Goiás são indiretamente iluminadas pelas luzes da cidade. Ademais, das 68 carcaças de anfíbios encontradas no estudo atual, 40 estavam localizadas nos cinco primeiros quilômetros da rodovia. Além das influências da infraestrutura rodoviária e a iluminação da cidade, os *hábitats* das imediações dos quilômetros iniciais da via são propícios à presença de anfíbios, já que, nesses locais, foram verificados córregos e áreas alagadas durante a estação chuvosa (Apêndice 26). Nas amostras, *Rhinella schneideri* (Apêndice 18) foi a espécie mais abundante. Ela é comumente encontrada no Cerrado brasileiro e é bem-adaptada a distúrbios antrópicos (AQUINO *et al.*, 2004). Destaca-se, porém, que a classe dos anfíbios costuma ser subamostrada em levantamentos de fauna atropelada, já que, suas características físicas (tamanho e estrutura corporal) dificultam a visibilidade do observador na coleta de dados e interferem na durabilidade das carcaças na rodovia (BRAZ; FRANÇA, 2016). Desta forma, é esperado que os indivíduos pertencentes à família Bufonidae sejam mais facilmente amostrados, pois são maiores e suas carcaças são pouco consumidas, graças à presença de glândulas excretoras de veneno na região cutânea de parte das espécies pertencentes a esse

grupo. De outra forma, é notável que *Rhinella schneideri* foi também a espécie mais amostrada no trabalho de Braz e França (2016), mas que a aglomeração de eventos referente aos anfíbios antes das obras na rodovia ficou próxima à ponte do rio das Cobras, localizada a cerca de 16 quilômetros de Alto Paraíso de Goiás.

As concentrações de atropelamentos nos trechos iniciais da rodovia foram também observadas em todos os registros auferidos após as intervenções no traçado (figura 5). Muitas espécies generalistas e menos sensíveis à presença humana foram amostradas nesse segmento. A exemplo disso, pode-se citar indivíduos de Anu Branco (*Guira guira*; Apêndice 6), Carcará (*Caracara plancus*), Papa-vento (*Polychrus acutirostris*; Apêndice 15), Beija-flor-tesoura (*Eupetomena macroura*), Cururu-vermelho (*Rhinella rubescens*; Apêndice 17), etc.

É sabido que a implantação de estruturas rodoviárias alteram os *hábitats* próximos (FORMAN *et al.*, 2003; NEWBOLD *et al.*, 2015). Porém, a infraestrutura pode surtir efeitos positivos ou negativos a depender das populações afetadas pela implantação do empreendimento (UNDERHILL; ANGOLD, 2000). Quanto à diversidade de espécies, os principais impactos negativos de rodovias são a remoção de estoques de fauna por atropelamentos e o efeito barreira (JACKSON; FAHRIG, 2011; DA ROSA, 2012). A rodovia GO-239 apresenta características paisagísticas singulares no trecho trabalhado e os resultados apresentados no estudo demonstram uma possível mudança nos índices de atropelamentos e na composição de espécies atropeladas com relação à recente obra na rodovia. Porém, as alterações foram observadas em áreas onde as qualidades estruturais do empreendimento rodoviário e das áreas que o envolvem foram mantidas sem alterações significativas. Portanto, é possível que os resultados observados estejam mais relacionados às modificações no uso da rodovia por parte da fauna e de motoristas que transitam no local. Tal entendimento corrobora com Figueiredo, Lima e Soares, que, ao analisarem a taxa e a distribuição de

atropelamentos de vertebrados em diferentes tipos de rodovias, argumentaram que as diferenças nas superfícies das vias estudadas por si só poderiam não explicar os índices encontrados no trabalho, mas sim, outros fatores que são gerados pela pavimentação como, por exemplo, o aumento das velocidades empregadas na rodovia.

Ademais, os resultados observados evidenciam que os dados auferidos após as obras no empreendimento podem apresentar menor riqueza e maior abundância de espécies resistentes aos distúrbios antrópicos (tabelas I e II). Sendo assim, é provável que os *hábitats* das imediações da rodovia vêm sendo evitados por indivíduos menos tolerantes às alterações no ambiente. É possível, portanto, que a fauna habitante de áreas próximas esteja suscetível aos impactos negativos da perda na conectividade de manchas de vegetação natural (efeito de barreira) e à redução na qualidade dos *hábitats* locais.

Destaca-se, porém, que as mudanças nas atividades de animais em ambientes rodoviários não estão sujeitas apenas ao fluxo ou à velocidade de veículos, mas também a alterações sazonais no ambiente como temperatura, chuvas, fases da lua, etc.

É importante salientar, como ressalva, que as conclusões apresentadas no presente estudo devem ser avaliadas com cautela, pois estão condicionadas à acurácia na identificação das carcaças e às dificuldades atreladas à subamostragem na metodologia de coleta utilizada, já que os levantamentos dependem das limitações que o observador possui para visualizar as carcaças na rodovia. Além disso, os métodos utilizados não contabilizam os animais feridos por veículos e que, posteriormente, morrem em decorrência dos ferimentos fora da área amostrada.

7. POSSÍVEIS ALTERNATIVAS PARA A MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS

O Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros é uma das principais unidades de conservação do Cerrado brasileiro. Sua área tem grande importância na preservação da biodiversidade do bioma. Segundo os dados do Plano de Manejo da UC (2009), no parque, foram registradas 80 espécies de mamíferos, 389 de aves, 81 de répteis e 57 de anfíbios. Ademais, ainda segundo o plano, a UC é representativa no que se refere às espécies endêmicas do Cerrado. Outrossim, nas imediações do parque, já foram registrados indivíduos de espécies já classificadas em níveis de ameaça de extinção como o *Mergus octosetaceus* (pato mergulhão), *Panthera onca* (onça pintada) e *Lonchophyla dekeyseri* (morcego-beija-flor).

Em 2001, suas riquezas naturais e a sua elevada importância ecológica fizeram com que o PNCV fosse reconhecido como patrimônio mundial da humanidade (ICMBIO, 2009). Além disso, a UC é uma das áreas-núcleo da reserva da biosfera do Cerrado Fase II, sendo uma porção importante dos ecossistemas da região onde se insere (BRASIL, 2017).

A exposição da fauna aos impactos negativos das rodovias que influenciam o parque, ao longo dos anos, poderá interferir na efetividade dos esforços para a conservação de espécies sensíveis ao empreendimento. Portanto, é importante avaliar meios de se prevenir os danos atrelados à instalação de novas estruturas de transporte rodoviário nas imediações da UC.

Como já foi afirmado acima, a ecologia de estradas é ainda um ramo pouco atuante no Brasil (FORMAN *et al.*, 2003; BAGER *et al.*, 2007). Grande parte das rodovias brasileiras foram construídas sem o planejamento prévio (CNT, 2016) e o impacto negativo das estruturas rodoviárias na biodiversidade nativa é ainda difícil de ser dimensionado. Apesar dessa adversidade, já existem estudos em curso que buscam avaliar os danos de rodovias à fauna

em todo o país e, quando nos referimos impactos diretos, os estudos mais atuais buscam avaliar os efeitos ecológicos das malhas rodoviárias em grandes escalas (CBEE, 2016).

Mesmo diante das dificuldades comumente encontradas, propostas de mitigação dos impactos de rodovias são comuns em estudos com escalas menores de atuação. Dentre as propostas mais citadas, verificam-se a criação de cercas intercaladas, passagens de fauna e a instalação sistemas de controle de velocidade (CLEVENGER; CHRUSZCZ; GUNSON, 2003; MALO; SUAREZ; DÍEZ, 2004; BISSONETE; ADAIR, 2008).

Com base no levantamento de estudos, propostas e diagnósticos das medidas que visam mitigar os incidentes envolvendo veículos e animais silvestres encontradas na literatura e as avaliações de eficácia das estruturas já implantadas no Brasil, busca-se analisar as alternativas disponíveis e eficazes para a diminuição de atropelamentos na rodovia GO-239.

7.1. Passagens de Fauna

Popularmente, as medidas mitigadoras de atropelamentos de animais silvestres mais conhecidas são as passagens de fauna (FORMAN *et al.*, 2003). Houve um tempo em que essas estruturas de travessia eram vistas como a opção mais eficaz para evitar as colisões entre animais e veículos. Porém, nesse período, as avaliações de sucesso na instalação dos passadouros estariam pouco relacionadas aos estudos de eficácia, mas sim, às opiniões pessoais de gestores públicos (ROMIM; BISSONETTE, 1996). Hoje, sabe-se que, para promover a travessia de diversas espécies, a instalação desta infraestrutura não pode ocorrer sem o devido planejamento prévio. Cada ambiente tem a sua particularidade e é sabido que a composição da fauna

que faz a travessia e o uso da rodovia é um dos determinantes para a instalação de passagens (BAGER, 2003). Existem tipos diferentes de acessos e cada modelo é indicado para grupos específicos de animais (BISSONETTE; CRAMER, 2008). Ademais, a preferência por moldes diferentes de estruturas seguras de ligação, por exemplo, é uma das questões a serem avaliadas junto ao estudo da ecologia das espécies mais afetadas pelo empreendimento rodoviário. ABRA (2012), por exemplo, ao avaliar passagens subterrâneas de fauna instaladas na rodovia SP-225, em Brotas, no estado de São Paulo, verificou que em espécies de mamíferos de grande e médio porte existem diferentes preferências de travessia por ligações subterrâneas a depender da presença ou ausência de água.

Portanto, considerando a realidade do ambiente rodoviário em questão, a instalação de passagens de fauna em caráter de urgência não é adequada, pois a eficácia deste tipo de estrutura está condicionada a estudos prévios da composição e da ecologia da fauna que corre o maior risco ao cruzar a via.

Um dos estudos que diagnosticaram a eficácia de passagens de fauna nas imediações de UC brasileiras foi realizado por Bager (2003). O autor examinou um conjunto de estruturas instaladas na Estação Ecológica de Taim (RS) que visavam mitigar os impactos da rodovia à fauna silvestre. Na sua análise, os túneis de travessia de fauna foram instalados de forma equivocada. No caso, haviam passagens muito próximas e trechos muito longos sem a alternativa de travessia. Fato que corrobora com a necessidade da realização antecipada de pesquisas que identifiquem a composição da fauna afetada para a instalação efetiva desses dispositivos.

Além do mais, é importante lembrar que a construção de acessos é uma opção interessante, mas não garante o seu uso contínuo pela fauna. Sendo assim, mesmo com a instalação de passagens adaptadas ainda haverá, na rodovia, a presença de animais silvestres. A GO-239 é um exemplo interessante: temos ali espécies que não apenas realizam a travessia, mas

também fazem o uso do ambiente rodoviário nas suas atividades diárias. O carcará (*Caracara plancus*) costuma forragear a rodovia em busca de insetos e pequenos vertebrados atropelados. Além dele, o lobo guará faz o uso de tachões e do meio-fio da rodovia para a marcação de território, utilizando essas estruturas para destacar as suas fezes e urina (Apêndices 28 a 30).

De outra forma, salienta-se que, com o devido planejamento prévio, a instalação de passagens na GO-239 não deixa de ser uma alternativa válida para garantir um meio de conexão segura entre os ambientes naturais das áreas adjacentes (LESBARRERES; FAHRIG, 2012). Muito se fala sobre o alto custo na instalação passadouros (MCGUIRE; MORRALL, 2011), porém, o aproveitamento e a adaptação de galerias fluviais são exemplos de alternativas que podem ser utilizadas para diminuir despesas com a construção dos acessos, quando subterrâneos.

7.2. Cercamento alternado

Como já argumentado acima, o simples cercamento da rodovia não é uma alternativa indicada para prevenir atropelamentos de animais silvestres, pois o gradeamento intensificaria o efeito barreira da autoestrada. Porém, a colocação de cercas ou tapumes pode ser uma boa opção quando combinada a passagens e/ou instaladas apenas em locais estratégicos. As grades podem, por exemplo, guiar a fauna transeunte a possíveis passagens instaladas na rodovia.

As barreiras combinadas aos acessos para travessia são medidas de precaução amplamente utilizadas em países da Europa. Na Hungria, por exemplo, a maioria das estradas é construída entre grades de contenção e possuem passagens de fauna para permitir o fluxo de animais. O fato é que, mesmo com a aplicação dessas medidas, ainda é possível verificar animais atropelados na extensão das vias. Visto isso, Czerkézys *et al.* (2013) buscaram

verificar os *hotspots* de atropelamentos em rodovias gradeadas e analisar os fatores que explicam os aglomerados de animais mortos nessas áreas, mesmo com a presença de barreiras físicas. Depois, propuseram aperfeiçoamentos para essa medida mitigadora amplamente usada no país. No caso, os autores concluíram que os animais costumam passar em espaços criados pelas falhas na construção das grades, mas quando chegam ao outro lado da pista, não encontram saída, acabam se perdendo e são atropelados. Diante dos resultados obtidos, os autores propuseram a manutenção das cercas da via e a instalação de avisos sonoros nas margens. Nota-se aqui, a necessidade de manutenção contínua na estrutura para manter a sua eficácia.

Como as estruturas compostas por barreiras e passagens de fauna são relativamente novas, é difícil encontrar os resultados das instalações de medidas mitigadoras em longo prazo. A solução encontrada por alguns pesquisadores foi o uso de modelos de predição dos efeitos das passagens e barreiras sobre populações de espécies silvestres ao longo do tempo. No trabalho realizado por Ascensão *et al.* (2013), os autores buscaram avaliar a efetividade da implantação de passagens e barreiras para a fauna. Para isso, desenvolveram um modelo que simula os efeitos das estradas na persistência de populações em um ambiente hipotético. No caso, os efeitos para uma espécie de furão foram avaliados com o auxílio de um simulador. A utilização do programa permitiu a previsão do desempenho na aplicação desse método amplamente utilizado para a mitigação de danos, na restauração do fluxo gênico da espécie e na diminuição de espécimes atropelados. Os resultados indicaram que, a depender do risco de atropelamento do local, as barreiras pareceram ser mais eficientes do que as passagens implantadas.

No Brasil, Bager (2003) avaliou também as cercas instaladas na estação ecológica de Taim. O autor argumentou que o tipo de grade utilizada não foi adequada, pois pequenos vertebrados foram encontrados mortos nas treliças do barramento. Outro argumento utilizado, foi que animais abriam buracos escavando a base das grades para ter acesso à rodovia.

Reitera-se que rodovias são locais que disponibilizam recursos alimentares e ambientais para espécies tolerantes e generalistas. Portanto, estruturas que apenas inibam a travessia pela pista não serão suficientes para mitigar os impactos diretos do segmento rodoviário.

De outra forma, a instalação de grades alternadas e combinadas com estruturas que permitam a passagem segura de animais, continua sendo uma alternativa que não apenas previne os atropelamentos, mas que também pode tolher, mesmo que em parte, os impactos do efeito barreira e a instalação desses dispositivos costuma ser proposta na conclusão de trabalhos. Snow *et al.*, (2011), por exemplo, ao avaliarem as características espaciais dos pontos onde raposas foram encontradas atropeladas em segmentos rodoviários da ilha de San Clemente, na Califórnia, sugeriram a implantação de cercas intercaladas em trechos críticos de incidentes.

Todavia, a escolha dessas estruturas podem se dar em médio e longo prazo, após a conclusão de trabalhos e estudos sobre a composição da fauna que transita e que habita as imediações da rodovia.

7.3. Placas e sinalização

A sinalização que alerta os motoristas sobre a presença de animais na pista é uma medida de precaução amplamente utilizada no Brasil. Porém, a instalação de avisos têm sido questionada quanto a sua efetividade na prevenção de atropelamentos de espécimes silvestres (BAGATINI, 2006; RODRIGUES, *et al.*, 2002; BECKMANN *et al.*, 2010; LAUXEN, 2012). BAGATINI (2006), em sua tese de mestrado, levanta a questão e afirma que a falta de manutenção na via (como o corte contínuo da vegetação das margens) é um dos principais fatores que interfere na efetividade da medida. Já Lauxen (2012), argumenta que a habituação de motoristas aos avisos é outro empecilho que torna a estrutura ineficaz.

Aliás, a sinalização vertical era o único método preventivo implantado na rodovia GO-239 durante o levantamento de dados. Os altos índices de atropelamentos amostrados no presente trabalho já demonstram que apenas essa medida não é suficiente para coibir os incidentes entre veículos e animais silvestres. Ressalta-se ainda que apenas a sinalização de alerta sobre a presença de animais na pista foi instalada e que, durante as amostragens realizadas neste estudo, ainda não havia sinalização que definisse a velocidade máxima do trecho rodoviário.

Existem, porém, opções que podem auxiliar a promover mudanças no comportamento dos condutores. Sonorizadores são dispositivos horizontais geram ruídos sonoros quando transpassadas por veículos. Ainda que o método também seja questionado na literatura, principalmente pela intensificação da poluição sonora na rodovia e no consequente efeito de aversão ao ambiente rodoviário (BAUTISTA *et al*, 2003), este é também uma alternativa que acarretaria na diminuição da velocidade de automotores.

Além disso, a instalação desse dispositivo foi incluída no primeiro volume do projeto das obras de pavimentação da GO-239 (AGETOP-GO, 2013) e nas condicionantes da licença de instalação da construção (GOIÁS, 2013). Ainda assim, até a finalização da coleta de dados deste trabalho, a medida ainda não havia sido implementada na rodovia.

7.4. Redutores de velocidade

A redução da velocidade empregada por motoristas tem a prerrogativa de aumentar o tempo de resposta na ocorrência de qualquer incidente rodoviário. Esta é uma alternativa que, a princípio, promoveria tanto a redução nas taxas de atropelamentos de animais silvestres quanto a segurança de motoristas e pedestres que transitam na rodovia. Porém, a efetividade dos redutores está condicionada ao tipo de rodovia, à geometria do traçado e à

sua combinação com estruturas físicas ou medidas coercitivas (LAUXEN, 2012). Com relação às medidas físicas disponíveis, existem ainda algumas restrições na legislação que podem gerar conflitos e interferir na celeridade na instalação destes aparatos (BRASIL, 1997; CONTRAN, 1998).

A rodovia GO-239 é uma via rural de pista simples (BRASIL, 1997). Ocorre que, no CTB, o parágrafo único do artigo 94 proíbe a utilização de ondulações transversais e sonorizadores em vias rurais, salvo em casos especiais definidos pelo órgão ou pela entidade competente. A resolução do CONTRAN nº 39/1998 permite a instalação de lombadas físicas em vias rurais pavimentadas apenas em segmentos que atravessam aglomerados urbanos com edificações lindeiras, além das seguintes observações relacionadas às características da via onde as ondulações serão instaladas:

[...] “Art. 8º Para a colocação de ondulações transversais do TIPO I e do TIPO II deverão ser observadas, simultaneamente, as seguintes características relativas à via e ao tráfego local:

I - índice de acidentes significativo ou risco potencial de acidentes;

II - ausência de rampas em rodovias com declividade superior a 4% ao longo do trecho;

III - ausência de rampas em vias urbanas com declividade superior a 6% ao longo do trecho;

IV - ausência de curvas ou interferências visuais que impossibilitem boa visibilidade do dispositivo;

V - volume de tráfego inferior a 600 veículos por hora durante os períodos de pico, podendo a autoridade de trânsito com circunscrição sobre a via admitir volumes mais elevados, em locais com grande movimentação de pedestres, devendo ser justificados por estudos de

engenharia de tráfego no local de implantação do dispositivo;

VI - existência de pavimentos rígidos, semi-rígidos ou flexíveis em bom estado de conservação.”

Quanto aos sonorizadores, a resolução expressa a seguinte restrição:

[...] Art. 6º Os sonorizadores só poderão ser instalados em vias urbanas, sem edificações lindeiras, e em rodovias, em caráter temporário, quando houver obras na pista, visando alertar o condutor quanto à necessidade de redução de velocidade, sempre devidamente acompanhados da sinalização vertical de regulamentação de velocidade.

A princípio, a instalação de sonorizadores, acordado no projeto da rodovia, seria inconsistente com as normas vigentes relacionadas. Porém, já que rodovia está inserida na zona de amortecimento do PNCV, trata-se de um ambiente complexo. Portanto, as decisões sobre a instalação de redutores de velocidade são também amparadas pelas normas ambientais (BRASIL, 1981; BRASIL, 2011; BRASIL, 2000; CONAMA, 1986; CONAMA, 1997).

Os dispositivos eletrônicos, como barreiras e radares, costumam fazer parte das proposições de mitigação de atropelamentos em rodovias brasileiras. Prado, Ferreira e Guimarães (2006), por exemplo, propuseram, entre outros, a instalação de barreiras eletrônicas para prevenir a ocorrência de incidentes entre veículos e animais silvestres no Parque Ecológico Altamiro de Moura Pacheco em Goiás. Bager (2003), argumenta que o fator coercitivo desses aparatos faz com que sejam a opção mais eficaz na redução das taxas de atropelamentos de animais silvestres.

Todavia, aparelhos eletrônicos têm alto custo e, para produzirem resultados, exigem a manutenção contínua. Por isso, os locais de instalação devem ser bem analisados.

Ainda que a instalação de redutores eletrônicos e físicos de velocidade dependam da atuação direta, conjunta e contínua das autoridades responsáveis, esta é vista como uma opção que, em curto prazo, poderia contribuir positivamente com a redução de atropelamentos de fauna e de acidentes na rodovia estudada.

7.5. Rodovia GO-239: o cenário atual e a medida indicada para redução dos impactos observados

As lacunas que ainda existem no estudo dos efeitos de rodovias na biodiversidade são amplamente utilizadas para embasar a prerrogativa de que não há evidências suficientes de danos significativos à vida silvestre na implementação de empreendimentos rodoviários (VAN DER REE *et al.*, 2011). O argumento é também amplamente utilizado na necessidade de instalação de estruturas que busquem prevenir atropelamentos. A realidade do trecho estudado no presente trabalho não é exceção.

A rodovia que liga a cidade de Alto Paraíso de Goiás à Colinas do Sul é antiga. O traçado tem origem nas atividades minerárias que existiam no local que atualmente é protegido pelos limites do PNCV. Mais adiante, a autoestrada fez parte do conjunto de aparelhos urbanos instalados na região em um projeto de incentivo implantado pelo governo do estado de Goiás em 1979. Seu planejamento não considerou a preservação da riqueza ecológica das imediações (ICMBIO, 2009). A via já estava estabelecida e estruturada em boa parte do traçado que dá acesso à vila São Jorge e apenas cerca de 12 quilômetros do segmento ainda não possuía pavimentação quando a primeira etapa das obras de reestruturação se iniciaram. Hoje, a GO-239 é uma rodovia com deficiências que tornam propício o seu uso indevido por parte dos motoristas que nela transitam. O trecho conta com ampla sinalização para alertar transeuntes sobre a travessia de fauna silvestre

(Apêndices 31 a 33). Porém, até a finalização do presente trabalho, não haviam avisos que definissem a velocidade máxima na pista. O Código Nacional de Trânsito brasileiro (CTB), determina que, onde não existe indicação dos limites de velocidade, para as características do trecho em questão, deve-se considerar a marca máxima de 100 km/h para automóveis, camionetas e motocicletas; e de 90 km/h para os demais veículos.

Ocorre que, em 1999, foi promulgada a lei estadual nº 13.467 que denomina e especifica o trecho rodoviário da GO-239 como Estrada Parque Sullivan Silvestre (GOIÁS, 1999). O conceito de estrada-parque ainda é vago no Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2012; SORIANO, 2006). Muitas vezes, estas vias são consideradas áreas especiais de interesse turístico (AEIT) ou apenas recebem essa denominação quando cortam áreas de grande relevância ecológica em UC (SORIANO, 2006). Nota-se, porém, que o reconhecimento legal da importância dos ecossistemas cortados pelo eixo rodoviário e a velocidade máxima ainda não definida na rodovia são fatos inconsistentes.

Outra questão que deve ser considerada é a segurança de motoristas e pedestres na via. A falta de fiscalização e a brecha que permite o fluxo de veículos em alta velocidade propiciaram a ocorrência de acidentes sérios de trânsito no local. No período de um ano, durante o levantamento de dados do presente estudo, ocorreram dois sinistros com vítimas fatais no trecho trabalhado. Ademais, a ocorrência de incidentes envolvendo mamíferos de grande porte, já encontrados na rodovia (BRAZ; FRANÇA, 2016), podem acarretar ferimentos sérios aos motoristas envolvidos, além dos alusivos danos materiais (BISSONETE; ADAIR, 2008; LANGLEY; HIGGINS; HERRIN, 2006; ROWDEN *et al.*, 2008; MRTKA; BORKOVCOVÁ, 2012).

Portanto, a relevância da instalação de estruturas que mitiguem os impactos observados na rodovia vai além da importância ecológica e atinge também a segurança e o bem-estar de moradores e visitantes da região.

Ademais, a legislação ambiental brasileira é robusta e abarca todas as situações conflituosas observadas. Com relação à segunda etapa da obra de pavimentação da rodovia, os argumentos embasados na ausência de estudos necessários para a confirmação dos danos e para a indispensabilidade da aplicação de medidas preventivas de atropelamentos estão amparados pelo princípio da precaução. O princípio 15, proclamado na declaração do Rio sobre meio ambiente e desenvolvimento (ONU, 1992) refere-se à precaução da seguinte forma:

“(...) Quando houver ameaça de danos graves ou irreversíveis, a ausência de certeza científica absoluta não será utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental.”

Já na etapa concluída e cujas condicionantes da licença de instalação ainda não haviam sido cumpridas, observa-se a oportunidade de um ajustamento de conduta por parte da construtora. A aplicação das medidas propostas no presente trabalho proverão uma análise de efetividade na redução de velocidade de veículos que, se positiva, poderá ser repetida na próxima etapa de intervenção no traçado.

É importante salientar, porém, que mesmo com a implantação de estruturas visando a mitigação dos danos, ainda será possível verificar animais atropelados na extensão do eixo rodoviário. Todavia, a prevenção dos impactos tem o objetivo impedir que a redução de densidades populacionais cheguem a níveis críticos e, assim, garantir a permanência de espécies suscetíveis às influências negativas da rodovia em locais especialmente protegidos. Tendo em vista que a perda na biodiversidade é um dos principais fatores que provocam alterações em processos ecossistêmicos relevantes (HOOPER *et al.*, 2012), é imprescindível o controle e acompanhamento dos efeitos da GO-239 nas imediações do PNCV.

No tocante aos resultados do presente trabalho, a situação atual da rodovia, de seus ambientes lindeiros e da importância de se preservar os mecanismos ecológicos nas áreas de grande relevância que, dentre outras coisas, são atrativos turísticos e norteiam a principal atividade econômica das cidades inseridas na microrregião da Chapada dos Veadeiros (ICMBIO, 2009), recomenda-se a instalação de redutores de velocidade na rodovia GO-239, sejam estes físicos ou eletrônicos. Quanto aos locais indicados para a instalação dos mecanismos preventivos, orienta-se a avaliação da viabilidade dos trechos identificados neste estudo como *hotspots* de atropelamentos.

Como os resultados produzidos são referentes às amostragens realizadas ao longo de um ano, período que não permite a identificação de eventos sazonais, é importante que se dê preferência aos trechos coincidentes no que se refere aos dados auferidos antes e após as obras na rodovia.

Ademais, é essencial que as informações de atropelamentos de animais silvestres na GO-239 sejam monitoradas continuamente, em vias de se identificar padrões em ocorrências de eventos ao longo dos anos, suas possíveis causas e soluções. Além de acompanhar a resposta da fauna às mudanças que já ocorreram e que ainda ocorrerão no segmento rodoviário trabalhado.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente estudo evidenciam que os índices de atropelamentos de animais silvestres na rodovia GO-239 são significantes, com 0,043 eventos registrados para cada quilômetro percorrido. Índice superior ao obtido nos dados levantados antes das intervenções no traçado

do eixo rodoviário (0,029).

Após as obras na rodovia, foram identificadas aglomerações de atropelamentos nas proximidades do perímetro urbano de Alto Paraíso de Goiás, quando analisados os dados referentes às classes das aves, dos anfíbios e, também, todos os registros auferidos. Ademais, os *hotspots* de atropelamentos de anfíbios e de todas as classes de vertebrados amostradas entre os anos de 2015 e 2016 foram positivamente relacionadas ao número de fragmentos urbanos, tal relação não foi observada nas amostras obtidas entre os anos de 2007 e 2008. Outrossim, as informações levantadas após a pavimentação apresentam riquezas relativas inferiores quando comparadas aos levantamentos anteriores à instalação da nova estrutura rodoviária, indicativo de que os *hábitats* das imediações da rodovia vêm sendo evitados por indivíduos menos tolerantes às alterações no ambiente. É possível, portanto, que a fauna habitante de áreas próximas à autopista esteja suscetível aos impactos negativos da perda na conectividade de manchas de vegetação natural (efeito de barreira) e à redução na qualidade dos *hábitats* locais.

Os trechos onde foram identificadas aglomerações de eventos não sofreram alterações significantes com a inserção do novo pavimento. Mas, foi notado que a instalação da nova estrutura de transporte automotivo tornou comum o tráfego de veículos em alta velocidade em todo o segmento pavimentado. Desta forma, as alterações observadas nas distribuições de incidentes foram mais relacionadas às mudanças no comportamento de motoristas do que à modificação da superfície rodoviária.

Os ambientes naturais são diversos e mutáveis. Portanto, as influências desta rodovia devem ser trabalhadas em diferentes escalas temporais e de forma contínua. Recomenda-se assim, que seja adotado o monitoramento continuado do traçado com o objetivo de se identificar padrões, eventos sazonais e a resposta da fauna às perturbações ambientais.

Considerando a situação atual e a importância da boa funcionalidade e a segurança da via para os moradores e visitantes da região, a instalação de redutores de velocidade, físicos ou eletrônicos, parece ser a melhor alternativa como medida mitigadora de danos, cuja aplicação apresentará resultados em curto prazo.

Porém, considerando a relevância ecológica do local, mais adiante, de posse de mais estudos que demonstrem qual a composição e a ecologia da fauna que faz o uso da rodovia, a instalação de passagens poderá ser incluída em um sistema de proteção. O sistema é composto por um conjunto de medidas que visem diminuir as taxas de atropelamentos na rodovia (passagens, cercas direcionadas, placas e redutores de velocidade). Este sim, pode garantir a diminuição de atropelamentos de animais silvestres de forma eficaz. Por hora, a diminuição da velocidade empregada por motoristas na rodovia é o meio mais rápido de garantir o aumento no tempo de resposta na travessia de animais silvestres.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRA, F. **Monitoramento e avaliação das passagens inferiores de fauna presente na rodovia SP-225 no município de Brotas, São Paulo**. Tese de Mestrado. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2012, 72 p.
- AGETOP-GO. **GO-239: Agetop inaugura construção**. Disponível em: <<http://www.agetop.go.gov.br/post/ver/200602/go-239:-agetop-inaugura-construcao2>>. Data de acesso: 08 de agosto de 2015a.
- AGETOP-GO. **Relação Descritiva das Rodovias Estaduais: Sistema Rodoviário do Estado de Goiás**. Disponível em: <<http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2012-07/rodovias.pdf>>. Data de acesso: 08 de abril de 2015b.
- AGETOP-GO. **Pojeto de engenharia para a implantação pavimentação, restauração e readequação de rodovia**. Volume 1. [s. ed.]: Brasília, DF.
- ALTO PARAÍSO DE GOIÁS. **Sítio oficial da prefeitura municipal de Alto Paraíso de Goiás**. Disponível em: <http://www.altoparaíso.go.gov.br/DetailNoticia.php?IDNoticias=285>. Data de acesso: 02 de novembro de 2015.
- AQUINO L. *et al.* **Rhinella schneideri**. The IUCN Red List of Threatened Species 2004: e.T54755A11200129. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T54755A11200129.en>>. Data de acesso: 17 de janeiro de 2017.
- ASCENÇÃO, F. *et al.* Wildlife–vehicle collision mitigation: Is partial fencing the answer? An agent-based model approach. **Ecological Modelling**. [s. l.]: Elsevier. 257, (2013), Pp. 36–43.
- 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.

- BAGER, A. Repensando as Medidas Mitigatórias 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
- BAGER, A. *et al.* Fauna Selvagem e Atropelamento - Diagnóstico do Conhecimento Brasileiro. *In*: BAGER, A. Áreas Protegidas: Repensando a Escala de Atuação. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2007, pp. 1-14.
- BARRI, F. R. Evaluación preliminar de la mortandad de mastofauna nativa por colisión com vehículos em tres rutas argentinas. **Ecologia Aplicada**. Lima: [s. ed.], v. 9,n. 2, 2010, pp.161-165.
- BARROS, R. S. M. **Medidas de diversidade biológica**. Trabalho final de pós-graduação. Departamento de ecologia. UFJF: Juiz de Fora, MG. 2007, 13 p.
- BAUTISTA, L. M. *et al.* Effect of weekend road traffic on the use of space by raptors. **Conservation Biology**. [s. l.]: Wiley-Blackwell, v. 18, n. 3, June, 2004, pp. 726-732.
- BECKER, B. F. A Implantação da Rodovia Belém-Brasília e o Desenvolvimento Regional. *In*: 19º Congresso Internacional de Geógrafos Latino-Americanistas. Colômbia: CNPq, 1977, pp. 32-46.
- BECKMANN, J. P.; CLEVENGER, A. P.; HUIJSER, M. P.; HILTY, J. A. **Safe passages: Highways, wildlife and habitat connectivity**. Washington, USA, Island Press. 2010. 396p.
- BISSONETE, J. A.; ADAIR, W. Restoring habitat permeability to roaded landscapes with isometrically-scaled wild-life crossings. **Biological conservation**. [s. l.] : Elsevier. 2008, v. 141, Pp. 482-488.
- BISSONETTE, J.; CRAMER, P. **Evaluation of the use and effectiveness of wildlife crossings**. Washington, DC, National Cooperative Highway Research Program, 2008. 162 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. Lei nº 9.503, de 23 de Setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Lex:** Diário Oficial da União, de 24 de Setembro de 1997.

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.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Ministério dos Transportes. Portaria Interministerial nº 273, de 03 de Novembro de 2004. **Lex:** Diário Oficial da União, n. 213, seção 1, de 05 de Novembro de 2004, pp. 76.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº. 444, de 17 de Dezembro de 2014. **Lex:** Diário Oficial da União, nº 245, seção 1, de 18 de Dezembro de 2014a, pp. 121.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Download de Dados Georreferenciados.** Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Data de Acesso: 15 de Março de 2014b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Reserva da Biosfera.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga/reserva-da-biosfera>>. Data de Acesso: 01 de Março de 2017

BRAZ, V. S.; FRANÇA, F. G. R. Wild vertebrate roadkill in the Chapada dos Veadeiros

- National Park, Central Brazil. **Biota Neotrópica**. Campinas :scielo, v. 16, n. 1, 2016, disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032016000100101&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 22 de maio de 2016.
- BROWN, J. H.; LIMOLINO, M.V. **Biogeography**. 1998 Sunderland, Massachusetts : Sinauer Associates, Inc. Publishers. Pp.158.
- FORMAN R. T. T. et al. **Road Ecology: Science and solutions**. 2003. Island Press, Washington, D. C., USA.
- 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, pp.709-717.
- CAMARGO, J. C. G. Algumas considerações à respeito do estudo da biogeografia. **Sociedade & Natureza**. Uberlândia: UFU, 12 (24), Julho a Dezembro, 2000, pp. 33-45.
- 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.
- CBEE. **Atropelômetro**. Disponível em: <http://cbee.ufla.br/portal/atropelometro/> . Acessado em: 03 de abril de 2016.
- CNT. Pesquisa CNT de rodovias 2015: Relatório Gerencial. 2015. **CNT: SEST: SENAT**, Brasília, DF, Brasil.
- COELHO, I. P. *et al.* Anuran road-kills neighboring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. **Journal of Environmental Management**. [s. l.]: Elsevier, 112 (2012) Pp. 17-26.
- COELHO, I. P.; KINDEL, A.; COELHO, A. V. P. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. **Eur J Wildl Res**. [s. l.]: Springer. V. 54, 2008. Pp. 689-699.
- COELHO I. P., TEIXEIRA F.T., KINDEL A. 2014. Siriema: road mortality software. Manual do Usuário V. 2.0. NERF, UFRGS, Porto Alegre, Brasil. Disponível em:

www.ufrgs.br/siriema. Acesso em: 03 de abril de 2016.

- 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, pp. 396-406.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 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. 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, pp. 30.841-30.843.
- CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Estabelece os padrões e critérios para a instalação de ondulações transversais e sonorizadores nas vias públicas disciplinados pelo Parágrafo único do art. 94 do Código de Trânsito Brasileiro**. Resolução n. 39, de 21 de Maio de 1998. Disponível em: <www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/resolucao039_98.doc>. Data de acesso: 02 de novembro de 2016.
- CUNHA, H. F.; MOREIRA, F. G. A.; SILVA, S. S. Roadkill of wild vertebrates along the GO-060 road between Goiânia e Iporá, Goiás State, Brazil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**. Maringá: Eduem. v. 32, n. 3, 2010, pp. 257-263.
- CSEKÉZS, T. *et al.* Interchange as the main factor determining wildlife–vehicle collision hotspots on the fenced highways: spatial analysis and applications. **European Journal of Wildlife Research**. [s. l.]: Springer. (2013), 59:587–597.
- DA 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.
- DA ROSA, C. A.; BAGER, A. Review of the factors underlying the mechanisms and effects of roads in vertebrates. **Oecologia Australis**. 2013. 17 (1), Pp. 208-221.

- 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.
- DE LIMA, P. C. A.; FRANCO, J. L. A. As RPPN como estratégia para a conservação da biodiversidade: O caso da Chapada dos Veadeiros. **Sociedade & Natureza.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. 26 (1), jan/abril, 2014, pp. 113-125.
- 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, pp. 104-116
- DIXO, M. *et al.* Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity among toad. **Biological conservation.** [s.l.]: Elsevier. v. 142, 2009, Pp. 1560-1569.
- populations in the Brazilian Atlantic Coastal Forest
- DNER. **Roteiro para Monitoramento de Obras Rodoviárias.** Rio de Janeiro. [s. ed], 1995.
- ERHART, S.; PALMEIRA, E. M. Análise do Setor de Transportes. **Observatório de la Economia Latinoamericana.** Pelotas: Economia do Brasil. n. 71, diciembre, 2006, pp. 1-6.
- FIGUEIREDO, A. P.; LIMA, R. A. S.; SOARES. Variação na taxa de atropelamentos de animais entre rodovias com diferentes tipos de pavimentação e números de pistas. **Heringeriana.** [s. l.] : [s. ed.]. v. 7 n. 2, 2013, Pp. 143-151.
- 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.

GOIÁS. SEMARH-GO. **Licença nº 1966/2013**. Dispõe sobre a Licença de instalação para a pavimentação da rodovia GO-239. Disponível em: <<http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2013-09/licenca-ambiental.pdf>>.

Data de acesso: 05 de janeiro de 2015.

GOIÁS. Lei nº 13.467 de 20 de julho de 1999. Denomina o trecho rodoviário que especifica. **Lex**: Diário Oficial de Goiás, de 30 de Julho de 1999.

GUNSON, K. E.; MOUNTRAKIS, G.; QUACKENBUSH, L. J. Spatial wildlife-vehicle colision models: A review of current work and its applications to transportation mitigation projects. **Jornal of environmental management**. [s. l.]: Elsevier. v. 92, 2011, Pp. 1074-1082.

HANSKI, I.; GILPIN, M. Metapopulation Dynamics: Brief History and Conceptual Domain. **Biological Journal of the Linnean Society**. London: Wiley, v. 42, 1991, pp. 3-16.

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.

HUNKE, P. *et al.* Soil changes under different land-uses in the Cerrado of Mato Grosso, Brazil. **Geoderma Regional**. [s. l.]: Elsevier. v. 4, 2014, pp. 31- 43.

IBAMA. **Monitoramento do Bioma Cerrado 2009-2010**. Brasília: MMA, 2011, pp. 65.

IBGE. **Área Territorial Brasileira**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acessado em: 02 de novembro de 2015.

IBGE. **Mapa logística dos transportes 2014**. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/redes_e_fluxos_do_territorio/logistica_dos_transportes/mapa_LogTransportes_5mi.pdf. Acessado em: 02 de novembro de 2015.

IBGE. **Contas Nacionais nº 42**. Divulga o resultado do sistema de contas nacionais relativo às tabelas de recursos e usos, contas econômicas integradas, contas regionais do Brasil, produto interno bruto dos municípios e matriz de insumo e produtos. Rio de Janeiro: 42, ed. IBGE, 2011

- ICMBIO. **Plano de Manejo Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros**. Brasília: [s. ed.], 2009, pp. 252.
- ICMBIO. **Atlas da Fauna Brasileira ameaçada em unidades de conservação federais**. Brasília: 1, ed. II. Color, 2011.
- ICMBIO. **PARNA da Chapada dos Veadeiros**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado/2081-parna-da-chapada-dos-veadeiros.html?highlight=WyJjaGFwYWRhliwiZG9zliwidmVhZGVpcm9zliwiY2hkcGFkYSBkb3MiLCJjaGFwYWRhIGRvcyB2ZWFKZWlyb3MiLCJkb3MgdmVhZGVpcm9zliI0=>. Data de acesso: 02 de novembro de 2015.
- ICMBIO. **Unidades de conservação no Cerrado brasileiro**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado>. Data de acesso: 02 de maio de 2016.
- JACKSON, N. D.; FAHRING, L. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. **Biological conservation**. [s.l.]: Elsevier. v. 144, 2011, Pp. 3143-3148.
- 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.
- JAEGER, J. A. G. *et al.* Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. **Ecological Modelling**. [s.l.]: Elsevier. 185 (2005) 329–348.
- KLINK; C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **MEGADIVERSIDADE**. Brasília: Conservação Internacional. v.1, n.1, julho, 2005, pp. 147-155.
- KROLL, G. An Environmental History of Roadkill: Road Ecology and the Making of the Permeable Highway. **Environmental History**. [s.l.]: Oxford University Press. 20 (2015) : 4:29.

- LACERDA, A. C. R. **Análise de ocorrência de *canis familiaris* no Parque Nacional de Brasília: Influência da matriz, monitoramento e controle**. 2002. Tese de Mestrado. Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, 78 p.
- LANGLEY, R. L.; HIGGINS, S. A.; HERRIN, K. B. Risk factors associated with fatal animal-vehicle collisions in the United States, 1995-2004. **Wilderness and Environmental Medicine**, [s.l.]: Elsevier. 17, 2006, Pp. 229-239.
- LAUXEN, M. S. **A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna: Um guia de procedimentos para tomada de decisão**. 2012. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Zoologia da UFRGS, Porto Alegre: 2012. 78 p.
- 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. Pp. 374-380.
- MACARTUR, R. H.; WILSON, O. E. **The Theory of Island Biogeography**. USA: Princeton University Press, 2001, 224 p.
- MACIEL, A. B. C.; LIMA, Z. M. C. O conceito de paisagem: diversidade de olhares. **Sociedade e Território**. Natal: UFRN. v. 23, nº 2, jul./dez. 2011, p. 159 – 177.
- MACHADO, R. B. 25 anos para o desaparecimento do Cerrado. In: TRIGUEIRO, A. **Mundo Sustentável: abrindo espaço na mídia para um mundo em transformação**. São Paulo: Globo, 2005, pp. 156-160.
- MALO, J. E.; SUÁREZ, F.; DÍEZ, A. Can we mitigate animal–vehicle accidents using predictive models?. **Journal of Applied Ecology**. [s.l.]: British Ecological Society. (2004) 41, Pp. 701–710.
- MARRIS, E. The forgotten ecosystem. **Nature**. [s.l.]: Nature publishing group. 13 October, 2005, 437. Pp. 944-945.
- MCGUIRE, T.; MORRALL, J. Strategic highway improvements to minimize environmental impacts within the Canadian Rocky Mountain national parks. **Canadian Journal of Civil Engineering**. Canada: NRC Research Press. 27 (3), 2000, Pp. 523-532.
- MORIÁNS, M. C. Introducción a la ecología del pasaje. 2005. **Editorial Científica Universitária** - Universidad Nacional de Catamarca.

- MRTKA, J.; BORCOVCOVÁ, M. Estimated mortality of mammals and the costs associated with animal–vehicle collisions on the roads in the Czech Republic. **Transportation Research Part D**. [s.l.]: Elsevier. 18 (2013). Pp. 51–54.
- MYERS, M. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. [s.l.]: Macmillan. v. 403. 2000. Pp. 853-858.
- NELBOLD T. *et al.* Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature**. [s. l.] : Macmillan. V. 520, 2015. Pp. 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, pp. 35-63.
- OLIVEIRA, J. P. Estrada-Parque, Paisagem e Turismo: um estudo do litoral sul de Balneário de Camboriú – SC, Brasil. **Revista de Turismo y Patrimonio Cultural**. [s.l.]: PASSOS. v. 10, nº 3, 2012, Pp. 381-392.
- 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.
- PEREIRA, M. A.; LENDZION, E. (org.). **Apostila de Sistema de Transportes**. [s.l.]:UFPR, 2013, 195 p.
- 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.
- PERRY, G.; BUCHANAN, B.W.; FICHER, R. N.; SALMON, M.; WISE, S.E. Effects of artificial night lighting on reptiles and amphibians in urban environments. 2008. Pp. 239–256. In: MITCHELL, J.C.; JUNG BROWN, R.E.; BARTHOLOMEW, B. (eds.), **Urban Herpetology. Herpetological Conservation**, Vol. 3. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Salt Lake City, Utah.
- PORTO, A. C.; LINARES, J. A. H.; NETO, G. B. S. Análise da estrutura e dinâmica da paisagem do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. In: XV Simpósio

- Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. 2011. **Anais...** Curitiba : INPE. p.3057.
- 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.
- QUINTANILLA, V. Diccionario de biogeografia para América Latina. Editorial universitaria, Valparaíso, 1977.
- RODRIGUES, F. H. G. *et al.* Impacto de rodovias sobre a fauna da Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF. *In: III Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação*. 07. 2002. **Anais...** Fortaleza: Fundação O Boticário. Pp. 171 – 197.
- RODRIGUES, T. A.; SALVADOR, E. As implicações do programa de aceleração do crescimento (PAC) nas políticas sociais. **SER social**. Brasília: UnB. Jan/jun 2011. v.13, n. 28, Pp. 129-156
- ROMIM, L. A.; BISSONETTE, J. A., Deer: Vehicle Collisions: Status of State Monitoring Activities and Mitigation Efforts. **Wildlife Society Bulletin**. [s.l.]: Wiley. vol. 24, nº. 2 (Summer, 1996), Pp. 276-283.
- ROWDEN, P.; D.; M. Road crashes involving animals in Australia. **Accident Analysis and Prevention**. [s.l.]: Elsevier. v. 40, 2008, Pp. 1865–1871.
- RYTWINSKI, T.; FAHRIG, L. Do species life history traits explain population responses to roads? A meta-analysis. **Biological conservation**. [s.l.]: Elsevier. v. 147, 2012, Pp. 87-98.
- SALGADO, T. R.; VIANA, J. L. R.; ARAGÃO, A. L. S. Impactos da atividade turística à economia municipal de Alto Paraíso de Goiás, Brasil. **Mercator**. Fortaleza: UFC.

set/dez 2014. v.13. n. 3. Pp.75-91.

- SNOW, P. N. *et al.* Characteristics of Road-Kill Locations of San Clemente Island Foxes. **Wildlife Society Bulletin**. [s. l.]: Wiley, 2011, 35(1):32–39.
- SCOTT, T. G. Wild life mortality in Iowa highways. **American Midland Naturalist**. [s. l.]: The University of Notre Dame, v. 20, n. 3, Nov., 1938, pp.527-539
- SORIANO, A. J. S. **Estrada-Parque: proposta para uma definição**. 2006, 78 p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 2006.
- 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, pp. 317-333
- STONER, D. The toll of the automobile. **Science**. [s. l.]: [s. ed.], v. LXI, n. 1568, 1925, pp. 56-57
- 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, pp. 18-30
- UNDERHILL, J. E.; ANGOLD, P. G. Effects of Roads on Wildlife in an Intensively Modified Landscape. **Environmental Review**. [s.l.]: [s. ed.], vol. 8, 2000, pp. 21-39.
- 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, A. M. N. *et al.* Da utopia à realidade: uma análise dos fluxos migratórios para o aglomerado urbano de Brasília. **In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais**. 15., 2006, Caxambú. Anais... Caxambú: ABEP, 2006, 17 p.
- VASCONCELOS, E. A. **Transporte urbano em desenvolvimento: reflexões e propostas**. São Paulo: Annablume, 2000. p. 282

10. APÊNDICES



Apêndice 1: Registro da Maria-preta-de-penacho (*Knipolegus lophotes*) realizado em 24/04/2016.



Apêndice 2: Registro do Choca-de-Asa-Vermelha fêmea (*Thamnophilus torquatus*) realizado em 07/08/2016.



Apêndice 3: Registro do Choca-de-Asa-Vermelha macho (*Thamnophilus torquatus*) realizado em 17/07/2016.



Apêndice 4: Registro do Rabo-branco-acanelado (*Phaethornis pretrei*) realizado em 17/09/2016.



Apêndice 5: Registro do Pia-cobra macho (*Geothlypis aequinoctialis*) realizado em 18/09/2016.



Apêndice 6: Registro do Anu-branco (*Guira guira*) realizado em 05/06/2016.



Apêndice 7: Registro do João-bobo (*Nystalus chacuru*) realizado em 30/07/2016.



Apêndice 8: Registro da Cobra-de-vidro (*Ophiodes striatus*) realizado em 07/05/2016.



Apêndice 9: Registro da Falsa-coral (*Oxyrhopus trigeminus*) realizado em 07/05/2016.



Apêndice 10: Registro da Falsa-coral (*Oxyrhopus trigeminus*) realizado em 08/05/2016.



Apêndice 11: Registro da Jiboia arco-íris (*Epicrates cenchria*) realizado em 08/05/2016.



Apêndice 12: Registro da Olho-de-gato (*Leptodeira annulata*) realizado em 21/05/2016.



Apêndice 13: Registro da Jararaca-dormideira (*Sibynomorphus mikanii*) realizado em 08//05/2016.



Apêndice 14: Registro da Cascavél (*Crotalus durissus*) realizado em 21/05/2016.



Apêndice 15: Registro do Lagarto-preguiça (*Polychrus acutirostris*) realizado em 30/07/2016.



Apêndice 16: Registro do Calango verde (*Ameiva ameiva*) realizado em 17/04/2016.



Apêndice 17: Registro do Cururu-vermelho (*Rhinella rubescens*) realizado em 07/05/2016.



Apêndice 18: Registro do Sapo-cururu (*Rhinella schneideri*) realizado em 01/11/2015.



Apêndice 19: Registro do Ouriço-cacheiro (*Coendou prehensilis*) realizado em 22/05/2016.



Apêndice 20: Registro de morcego (Stenodermatinae) realizado em 20/08/2016.



Apêndice 21: Exemplo de identificação à nível de Classe taxonômica devido à presença de fragmentos de penas na mancha. Registro realizado 04/06/2016.



Apêndice 22: Registro da Cuíca (*Gracilinanus agilis*) realizado em 04/06/2016.



Apêndice 23: Registro do Lobo guará (*Chrysocyon brachyurus*) realizado em 14/08/2016 (Foto: João Di Trindade).



Apêndice 24: Registro do Quati (*Nasua nasua*) realizado em 22/08/2015.



Apêndice 25: Exemplo de corpos d'água próximos ao traçado rodoviário. Destaque para o registro de atropelamento realizado em 22/08/2015 (apêndice 24).



Apêndice 26: Exemplo de espelho d'água próximo ao traçado rodoviário. Segmento próximo ao perímetro urbano de Alto Paraíso de Goiás. Registro em 06/09/2015.



Apêndice 27: Grãos de milho espalhados pela rodovia em decorrência do tombamento de veículo de carga. Segmento próximo ao morro da Baleia. Registro em 18/06/2016.



Apêndice 28: Carcará (*Caracara plancus*) forrageando a rodovia. Registrado em 08/05/2016.



Apêndice 29: Fezes de Lobo guará (*Chrysocyon brachyurus*) em tachão. Registrado em 09/08/2015.



Apêndice 30: Fezes e urina de Lobo guará (*Chrysocyon brachyurus*) em tachão. Registrado em 06/09/2015.



Apêndice 31: Sinalização vertical informativa instalada na rodovia. Registrado em 28/09/2016.



Apêndice 32: Sinalização vertical que alerta sobre a presença de animais silvestres na rodovia. Registrado em 18/10/2015.



Apêndice 33: Sinalização vertical que alerta sobre a presença de animais silvestres na rodovia. Solo exposto ao fundo. Registrado em 03/10/2015.



Apêndice 34: Solo exposto e formação de sulcos no talude de corte às margens do trecho que não possuía pavimentação. Registrado em 18/09/2016.



Apêndice 35: Solo exposto às margens do trecho que não possuía pavimentação. Registrado em 23/07/2015.



Apêndice 36: Solo exposto às margens do trecho que não possuía pavimentação. Registrado em 09/08/2016.



Apêndice 37: Solo exposto à margem do trecho que não possuía pavimentação. Registrado em 18/10/2015.