



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Instituto de Biociências
Programa de Pós-Graduação em Ecologia



Dissertação de Mestrado

Fatores espaciais associados às fatalidades de aves em rodovias

GABRIELA SCHUCK DE OLIVEIRA

Porto Alegre, setembro de 2021

Fatores espaciais associados às fatalidades de aves em rodovias

Gabriela Schuck de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. Andreas Kindel

Coorientação: Dra. Larissa Oliveira
Gonçalves

Comissão Examinadora

Dra. Fernanda Zimmermann Teixeira

Dra. Grasiela Casas

Dr. Jan Karel Felix Mähler Jr

Porto Alegre, setembro de 2021

CIP - Catalogação na Publicação

de Oliveira, Gabriela Schuck
Fatores espaciais associados às fatalidades de aves
em rodovias / Gabriela Schuck de Oliveira. -- 2021.
92 f.
Orientador: Andreas Kindel.

Coorientadora: Larissa Oliveira Gonçalves.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Programa
de Pós-Graduação em Ecologia, Porto Alegre, BR-RS,
2021.

1. ecologia de rodovias. 2. atropelamento de aves.
3. atributos da rodovia. 4. comportamento de aves. 5.
cobertura vegetal. I. Kindel, Andreas, orient. II.
Oliveira Gonçalves, Larissa, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Em memória de Ivone Lucia Schuck

*Não esqueça que a vida é pra viver
Lembre sem medo de esquecer
Não espere saber como vai ser
Saiba que nunca vai saber
Nico Nicolaiewsky*

Agradecimentos

Tenho que agradecer “o hoje” e aproveitar cada oportunidade de viver e ter junto as pessoas que eu amo em minha volta. A vida é um sopro e o amanhã pode não existir. Parece mais um clichê de final de uma etapa de vida que tanto escutamos, mas a gente só aprende mesmo quando sentimos na pele, e essa sensação é extremamente dolorosa. Estou aqui, lutando para conseguir entregar esse estudo a tempo com toda a qualidade que ele merece, principalmente por tantos esforços aplicados, por isso, é tão importante esse espaço para agradecimentos.

Agradeço a mim por conseguir concluir esse trabalho com a cabeça erguida em meio a tantas dores em minha volta, desde o sofrimento global que a humanidade está vivenciando com a pandemia do COVID-19 até o processo de perda da pessoa mais importante da minha vida. Obviamente que nunca caminhei sozinha, estou acompanhada por pessoas maravilhosas que sempre seguraram a minha mão desde o meu primeiro semestre em Ciências Biológicas. Não consigo encontrar as palavras exatas para expressar o tamanho do meu agradecimento a elas, em especial aos meus orientadores Andreas Kindel e Larissa Oliveira Gonçalves. Sem eles não estaria concluindo esse trabalho e muito menos teria forças para continuar buscando meus objetivos.

Agradeço à minha família que me apresentou o mundo com os olhos cheios de amor, por me permitirem e incentivarem a perguntar as coisas sobre a vida, especialmente sobre os animais. Não mediram esforços para sempre me acompanharem em todas as minhas conquistas, sempre presentes no meu mundo acadêmico, inclusive ajudando nos campos. Em especial à minha mãe e ao meu pai que sempre se emocionaram com cada etapa concluída, que sempre pediram para estarem juntos em cada momento. Daria tudo para que a minha mãe pudesse acompanhar mais essa etapa; apesar de não ser possível fisicamente, levo comigo todo esse orgulho que ela sempre expressou. Obrigada por tudo, eu sou quem sou hoje graças a vocês.

Obrigada a todos do Núcleo de Ecologia de Rodovias e Ferrovias (NERF) que sempre estiveram comigo em todos os momentos, que sempre dispuseram de tempo para me confortar, para me orientar e ajudar. Gostaria de abraçar forte cada pessoa nesse momento. Mesmo longe de todos eu sinto vocês todos os dias comigo; obrigada por cada carinho.

Agradeço ao meu outro grupo de pesquisa, o Grupo de Estudo em Vida Silvestre (GEVS), que apesar de não estar ligado diretamente a esse trabalho, contribuiu muito para minha formação durante a graduação e o mestrado, abrindo muitas outras oportunidades para trilhar no futuro. Em especial ao Flamarion, Zé, Lellie, Thais, Isma e Andreas, obrigada por confiarem em mim.

Agradeço às minhas amigas Brenda, Aline (Pig) e Barbara que cederam um colo amigo mesmo em situação de risco da pandemia. Barbara que me socorreu no pior dia da minha vida, Brenda e Pig que me confortaram com toda a experiência de vida delas.

Agradeço ao meu companheiro Guilherme Garber que sempre teve comigo em todas as situações possíveis, que me ajudou em todo o mestrado e também no momento mais difícil da minha vida. Ele é praticamente um membro do NERF/GEVS e também um pesquisador (mesmo sem saber ou se identificar dessa forma). Obrigada Gui, você faz parte da minha família, temos muito o que viver e vamos conseguir superar tudo isso juntos.

Agradeço à banca examinadora, por não apenas avaliar esse trabalho, mas também por serem compreensivos em dispor menos tempo para leitura. Aos ornitólogos Jan e Diógenes que, respectivamente, identificaram e classificaram as aves nos grupos funcionais. Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFRGS que vem qualificando a minha formação há 7 anos. À CAPES que concedeu a bolsa durante todo o período do meu mestrado incluindo a prorrogação. À EGR e STE que compartilharam os dados utilizados nesse trabalho.

Resumo

Os impactos das rodovias atingem diretamente as aves, sendo as taxas das fatalidades por colisões veiculares elevadas. Porém, mitigações para esse grupo faunístico ainda são incipientes. A dificuldade para criar estratégias de redução de fatalidades é provavelmente devido às possíveis inúmeras causas das mortes e pela grande heterogeneidade taxonômica e funcional que abrange o grupo. Em meu trabalho utilizei 779 registros de fatalidades de aves coletados em duas rodovias do Rio Grande do Sul e explorei, por meio de modelos ponderados, as relações de variáveis espaciais com a abundância de fatalidades. Também demonstrei a necessidade de separar os registros de fatalidades em conjuntos organizados por características comportamentais das aves em relação à rodovia. Aves que não possuem o comportamento de utilizar com frequência a rodovia estão relacionadas apenas com a paisagem no entorno do segmento, enquanto as aves que utilizam as estruturas da rodovia possuem relações tanto com a paisagem quanto com as características da rodovia. A compreensão das relações das variáveis em uma escala mais detalhada e dentro da área de influência da rodovia possibilita o planejamento de ações de mitigação para a diminuição das fatalidades.

Palavras chaves: Ecologia de rodovias; Atributos da rodovia; Cobertura vegetal; Comportamento de aves; Colisão entre veículos e aves.

Abstract

Roads have a significant impact on birds, with high rates of fatalities from animal-vehicle collisions. However, mitigations for this group are incipient. Probably, the difficulty in creating strategies to reduce fatalities is due to many possible causes of mortality and the high taxonomic and functional heterogeneity of birds. In this work, I used 779 bird fatality records collected on two highways in Rio Grande do Sul. I explored the relationships between spatial variables and fatalities abundance using weighted generalized linear models. Also, I demonstrated the need to split the fatality records into sets that are organized by behavioral characteristics of the birds in

relation to the highway. Birds that do not use frequently the highway are only related to the landscape surrounding the highway. Whereas the birds that usually are on highway structures have relationships with the surrounding landscape and the characteristics of the highway. Understanding the variable's relationship on a more detailed scale and within the highway's area of influence allow us to plan mitigation actions to reduce fatalities.

Key Words:

Road Ecology; Road attributes; Vegetation cover; Bird behavior; bird-vehicle collisions;

Sumário

Agradecimentos	5
Resumo	7
Introdução geral.....	10
Motivações	12
Capítulo 1	15
Fatores espaciais associados às fatalidades de aves em rodovias	15
Resumo.....	16
Coleta de dados	21
Resultados	25
Discussão.....	30
Conclusão	33
Referências	33
Materiais Suplementares	38
Considerações finais.....	88
Referências bibliográficas	89

Introdução geral

Os impactos que uma rodovia causa no ambiente já são amplamente conhecidos e discutidos na literatura científica (Coffin 2007), no âmbito do licenciamento ambiental (Freitas et al. 2017) e também listados como potenciais ameaças em planos de conservação de espécies (ICMBIO 2008). Esses impactos vão desde a perda do habitat (Freitas et al. 2010) à morte de indivíduos (Seiler & Helldin 2006). Estudos já apontam que as fatalidades nas rodovias para determinados grupos podem superar outros impactos antrópicos como a caça (Forman & Alexander 1998) e pesticidas (Erickson et al. 2005).

Nos últimos anos houve um aumento das publicações na área de ecologia de rodovias e a grande maioria dos estudos são voltados para os mamíferos (Pinto et al. 2020; Silva et al. 2021). Mamíferos são detectados com maior facilidade durante as amostragens (Gerow et al. 2010), geram grande interesse econômico e de saúde pública (Huijser et al. 2013), são espécies bandeira e possuem maior facilidade de mitigações (Ascensão et al. 2019). Porém, apesar de amplamente estudados, muitas vezes os mamíferos não são o principal grupo impactado nas rodovias, pois outros animais de pequeno porte, como anfíbios e aves, são muitas vezes mais atropelados (Forman et al. 2003; Grilo et al. 2020), impactados e negligenciados na hora do planejamento de mitigações.

Apesar de já existirem diversas evidências de que as aves possuem altas taxas de fatalidades nas rodovias (Loss et al. 2014; Vidal-Vallés et al. 2018), o conhecimento sobre medidas de mitigação para esse grupo faunístico ainda é incipiente (Kociolek et al. 2015). São poucos os trabalhos que estudaram a efetividade de estruturas mitigadoras para a redução das fatalidades de aves em rodovias. Em um experimento para avaliar a efetividade de postes direcionadores de voos com aves aquáticas, urubus e falcões treinados, Zuberogoitia et al. (2015) concluiu que para as aves aquáticas a estrutura obteve sucesso de 93,9%, porém para os outros grupos são necessárias adequações. Além dessa pesquisa, há o trabalho de Bard et al. (2002) que

testou uma estrutura semelhante e comparou as fatalidades de aves antes e depois da instalação e encontrou uma redução de 64% nas fatalidades. Apesar dos resultados promissores, claramente são necessários mais estudos para orientar adequadamente as mitigações para esse grupo tão complexo.

Há evidências de que fatores espaciais (ex. composição e configuração da cobertura vegetal; características da rodovia) (Orłowski 2008), temporais (ex. sazonalidade) (Rosa & Bager 2012) e aspectos biológicos (ex. faixa etária; morfologia; patógenos) (DeVault et al. 2015) podem estar relacionados às colisões de veículos com aves. Porém, essas associações entre variáveis preditoras e as fatalidades de aves não são exploradas em escalas locais que permitiriam uma possível orientação de manejo para mitigações. É importante deixar explícito, de antemão, que entendemos como escala local o entorno imediato das rodovias com posse e atribuições de manejo do empreendedor rodoviário, correspondendo à faixa de domínio.

Além disso, dificilmente é possível chegar a conclusões sobre o que explica a distribuição da abundância das fatalidades ao analisar conjuntamente todo o grupo das aves, já que há uma diversidade taxonômica e funcional alta que pode gerar diferentes tipos de respostas comportamentais em relação à rodovia e associações com variáveis explanatórias. Muitos estudos acabam considerando todas as aves da mesma maneira ou selecionando grupos-alvo, normalmente os rapinantes (Ramsden 2003; Kociolek & Clevenger 2009; Gomes et al. 2009), por terem comportamento de forrageio no entorno das rodovias. Porém, em ambientes tropicais e com paisagens bastante heterogêneas, é esperado que outras espécies e grupos de aves possuam afinidades com a rodovia e conseqüentemente acabem tendo taxas de fatalidades maiores (Orłowski 2005; Lepczyk et al. 2019; Soares & Dias 2020).

Para compreender melhor o que explica abundância das fatalidades das aves em rodovias é necessário olhar para as características do entorno imediato e em escalas mais apuradas dos locais de colisão e também entender quais são as aves que estão sofrendo esse impacto. Porém,

é importante ter um olhar para além da classificação taxonômica, explorando por exemplo, uma categorização comportamental com base na interação com as rodovias. O objetivo da minha dissertação foi explorar como variáveis da paisagem (proporção da composição da cobertura vegetal) e características locais das rodovias influenciam o número de atropelamentos de aves em duas estradas no estado do Rio Grande do Sul. Além de compreender quais variáveis têm maior influência nas fatalidades, explorei também se há diferenças nas variáveis quando as aves são classificadas em grupos funcionais relacionados a frequência de uso da rodovia. A expectativa é que os resultados possam auxiliar no planejamento de medidas de mitigação para esse grupo faunístico que normalmente é pouco contemplado em ações que reduzam as fatalidades.

Motivações

Minha motivação para realizar uma dissertação iniciou ainda durante a infância. Sempre me senti privilegiada em saber quem sou e onde eu quero chegar, apesar de na infância não saber os termos corretos, sempre fui uma pesquisadora. Minhas primeiras memórias são de experimentos com invertebrados: colocava diferentes espécies de aranhas em um mesmo ambiente e ficava observando o que ia acontecer, ou colocava uma formiga junto com uma mosca para saber se haveria algum tipo de interação.

A admiração pelo mundo e pelas formas de vidas sempre foram meu combustível e nunca pensei em seguir um caminho diferente daquilo que eu amo que é observar e vivenciar a natureza. Com os anos, percebi que eu também fazia parte da natureza e não era apenas uma mera observadora e que as outras pessoas também são natureza e interagem com o ambiente de diversas formas, muitas vezes de maneira negativa que resultam em diferentes impactos. A percepção de interações e impactos foi o que me encaminhou para o mundo da ecologia desde o início da minha formação em Ciências Biológicas. Ingressei no Núcleo de Ecologia de Rodovias e Ferrovias (NERF) no primeiro semestre do curso e continuo lá até hoje.

O NERF me permitiu pensar em soluções para diminuição de impactos antrópicos, sendo a fatalidade de animais nas rodovias o principal foco. Também fui estimulada a pensar nas lacunas de conhecimentos dentro da ciência e buscar as respostas. Além disso, sempre explorei outros assuntos que me despertam curiosidade além da ecologia de rodovias, como a ecologia de movimento, etologia e ecologia de felinos. Entretanto, mesmo com paixões fixas e distintas, segui para o mestrado com um grupo mais negligenciado em relação a soluções de mitigação desses impactos antrópicos. Iniciei a jornada com as aves motivada em buscar soluções e compreender as dificuldades de mitigar esse grupo. Antes da situação pandêmica, elaboramos pilotos de experimentos comportamentais das aves em relação à rodovia e também na busca de carcaças fora de uma via (um dos erros amostrais mais difíceis de serem estimados). Com o cenário atual, decidimos explorar as variáveis espaciais relacionadas com as fatalidades para que com esses resultados possamos entender mais as dificuldades e planejar estudos experimentais com esse grupo nas rodovias.

Pretendo seguir motivada com esses assuntos mais desafiadores, como as aves e rodovias, mas também quero continuar persistindo em explorar outros assuntos, e essa dissertação é uma das chaves para eu continuar pesquisando e fazendo a diferença.

Essa dissertação foi estruturada em uma introdução geral, um capítulo em formato de artigo e as considerações finais, nas quais exploro alguns desdobramentos e avanços futuros no estudo do problema enfocado. O capítulo 1 está apresentado como um manuscrito e formatado nas normas da revista *European Journal of Wildlife Research* que possui um tópico especial em Ecologia de Rodovias.

Capítulo 1

Fatores espaciais associados às fatalidades de aves em rodovias

de Oliveira, Gabriela Schuck^{1,2,*}; Gonçalves, Larissa Oliveira² & Kindel, Andreas^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

²Núcleo de Ecologia de Rodovias e Ferrovias (NERF), Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

*Corresponding author: gaby.schuck@hotmail.com

ORCID:

Gabriela Schuck de Oliveira: <https://orcid.org/0000-0002-2598-7505>;

Larissa Oliveira Gonçalves: <https://orcid.org/0000-0002-4163-1023>;

Andreas Kindel: <https://orcid.org/0000-0002-6358-1450>.

Palavras-chaves: Ecologia de rodovias; Atributos da rodovia; Cobertura vegetal; Comportamento de aves; Colisão entre veículos e aves.

Agradecimentos:

À Capes pela concessão da bolsa durante todo o período da pesquisa. Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFRGS pela minha formação. À EGR (Empresa Gaúcha de Rodovias) e à STE (Serviços Técnicos de Engenharia S.A.) pela disponibilização dos dados. A todos os pesquisadores envolvidos na coleta de dados em campo. Aos pesquisadores Diógenes Borges Machado e Jan Karel Félix Mähler Jr. pela classificação das aves. À

pesquisadora Júlia Beduschi pela elaboração da figura de localização do estudo e aos pesquisadores Vanderlei Júlio Debastiani e Vinicius Bastazini pelos esclarecimentos de dúvidas analíticas. Ao Guilherme Santana Garber e às pesquisadoras Barbara Zucatti Rangel e Bibiana Terra Dasoler de Oliveira pela revisão textual.

Contribuições dos autores

Gabriela Schuck de Oliveira (GSO), Larissa Oliveira Gonçalves (LOG) e Andreas Kindel (AK) contribuíram para a elaboração do desenho amostral, escrita e revisão deste artigo. GSO e LOG contribuíram com a coleta e análise de dados.

Conflito de interesse

Os autores declaram que não há conflito de interesse

Resumo

O atropelamento de fauna em rodovias é um dos impactos mais visíveis e as aves são um dos grupos com maiores taxas de fatalidades. Porém, são poucas as soluções de mitigações voltadas para esse grupo já que a habilidade de voar gera muitos desafios. Algumas ações possíveis envolvem o manejo das condições ambientais do entorno da rodovia, contudo é importante compreender quais são as condições que favorecem a ocorrência de fatalidades e quais são as aves mais suscetíveis. Nosso trabalho teve o objetivo de explorar as relações entre fatores espaciais e a abundância das fatalidades de aves em duas rodovias no estado do Rio Grande do Sul. Nós utilizamos registros de aves atropeladas provenientes do programa de monitoramento de fauna da Empresa Gaúcha de Rodovias. Obtivemos variáveis de uso e cobertura do solo em diferentes escalas através de imagens de satélite classificados do MapBiomas e atributos das rodovias e do seu entorno imediato por meio de imagens do Google Street View. Ajustamos modelos ponderados com distribuição de Poisson para diferentes

conjuntos de aves categorizadas pela frequência de uso das rodovias. Evidenciamos que tanto as variáveis quanto as escalas de efeito destas diferem entre os grupos de aves avaliados. As fatalidades de aves que possuem o comportamento de frequentar as estruturas da rodovia têm relações positivas com diferentes estruturas, como a presença de cerca e canteiro central, acostamentos mais largos e aspectos da cobertura vegetal adjacente à rodovia. Já as fatalidades de aves que não utilizam com frequência a via, estão apenas relacionadas às variáveis que descrevem a paisagem adjacente. Nossos resultados indicam alguns aspectos que são possíveis de manejo, contudo, para possíveis intervenções são necessárias experimentações para avaliar a efetividade da mitigação das fatalidades de aves.

Introdução

Rodovias podem ser importantes barreiras ao movimento da fauna comportando-se como filtros populacionais (Chen & Koprowski 2016) e promovendo a eliminação de indivíduos das populações por meio de tentativas fracassadas de cruzamento (Row et al. 2007). Embora imaginemos que as aves sejam capazes de escapar mais rapidamente de uma colisão com veículos pelas habilidades de manobras aéreas (DeVault et al. 2014; Johnson et al. 2017), as fatalidades em rodovias contribuem para o declínio de várias espécies (Boves & Belthoff 2012; Borda-de-Água et al. 2014; Loss et al. 2015; BirdLife International 2018). Por outro lado, algumas espécies de aves são atraídas para as estradas forrageando nas áreas adjacentes (Boves & Belthoff 2012), consumindo sementes perdidas no transporte da produção agrícola e da faixa de domínio (Cook & Blumstein 2013) ou consumindo carcaças de animais mortos (Dean & Milton 2009).

As estimativas de fatalidades de aves são altas (Bacon et al. 2011; Bishop & Brogan 2013; Loss et al. 2014; Vidal-Vallés et al. 2018) e são poucas as alternativas disponíveis na

literatura apresentando ações de mitigação para este grupo (Jacobson 2005; Kociolek et al. 2015). A mitigação pode envolver a definição de rotas que evitem ambientes mais sensíveis para aves (Zuberogoitia et al. 2015) durante a fase de planejamento de uma nova rodovia, ou o manejo da vegetação marginal (Soares & Dias 2020) ou outros recursos que eventualmente atraem as aves para o entorno ou a própria estrada (Grilo et al. 2014), ou ainda o manejo do comportamento de voo das aves ao cruzarem uma rodovia (Bard et al. 2002). Em qualquer destas opções a definição de como intervir e onde intervir passa pela compreensão dos fatores que explicam a distribuição das fatalidades ao longo de uma rodovia.

Entre os fatores associados com as fatalidades de aves em rodovias listados na literatura incluem-se tipos de habitats (Rosa & Bager 2012), sazonalidade (Seo et al. 2013), tamanho corporal (Arnold et al. 2019), faixa etária (MASSEMIN et al. 1998), tempo de reação individual (DeVault et al. 2015), tráfego da rodovia (Forman et al. 2002), presença de patógenos (Møller et al. 2011), atratibilidade (Cook & Blumstein 2013) e outras características espaciais, temporais e biológicas (Erritzoe et al. 2003). Contudo, vários destes fatores não estão disponíveis para intervenções de manejo com o objetivo de reduzir as fatalidades de aves, oferecendo pouca orientação sobre como proceder. Outra limitação da maioria dos estudos que abordam aspectos relacionados à cobertura e uso da terra é a exploração de escalas que não estão sob a governança dos empreendedores cuja intervenção, em estradas já em operação, se restringe à faixa de domínio.

Por ser um grupo heterogêneo, com muitas espécies e que possuem comportamentos distintos de interação com as rodovias, existem dificuldades adicionais para explicar a ocorrência das fatalidades de aves. Há aves que pousam na pista ou próximo da faixa de rodagem (De Felipe et al. 2019), outras utilizam as margens para forrageio (Gomes et al. 2008) e aves que evitam ao máximo as rodovias (Husby 2017). Esses aspectos dificultam a

interpretação de resultados de análises que consideram o grupo como um todo e por conseguinte o planejamento da mitigação tendo como grupo-alvo todas as aves.

Em nosso estudo, tivemos como objetivo identificar variáveis da rodovia, do entorno imediato e da paisagem adjacente associadas com a abundância de fatalidades de aves em duas rodovias do sul do Brasil. Além disso, avaliamos se o conjunto de variáveis que explica a abundância de fatalidades muda quando dividimos o conjunto no grupo de aves que usa frequentemente a rodovia para forrageio ou outro comportamento e no grupo de aves que não utilizam com frequências essas estruturas. Esperamos encontrar que as aves que possuem o comportamento de frequentar as estruturas da rodovia tenham mais relações com características da rodovia do que aves que não utilizam com frequência a via e que essas últimas tenham mais relação com a paisagem adjacente. Também esperamos encontrar relações com as variáveis que sejam possíveis de manejar visando a diminuição das fatalidades.

Material e Métodos

Área de Estudo

Realizamos nosso estudo em um trecho de 148 km da RSC-287 (km 28 ao 176) e outro de 19 km da rodovia ERS-239 (km 53 ao 72), localizados na região central do Rio Grande do Sul (Figura 1). A RSC-287 e a ERS-239 são rodovias pavimentadas sob concessão da Empresa Gaúcha de Rodovias (EGR), com alguns trechos de pistas simples e duplicadas e velocidade máxima permitida de 80 km/h. O fluxo médio mensal é de 298.152 para a RSC-287 e de 771.517 veículos para a ERS-239, valores do ano de 2019 das praças de pedágios de Campo Bom, Candelária e Venâncio Aires (EGR, 2021). Os dois trechos estão inseridos na transição entre os biomas Mata Atlântica e Pampa, apresentando diferentes fisionomias de áreas

campestres e florestais (Souza et al. 2020). Além da vegetação nativa, também há a presença de áreas com lavouras temporárias (arroz e soja predominantemente), silvicultura, pastagem, e múltiplos aglomerados urbanos.

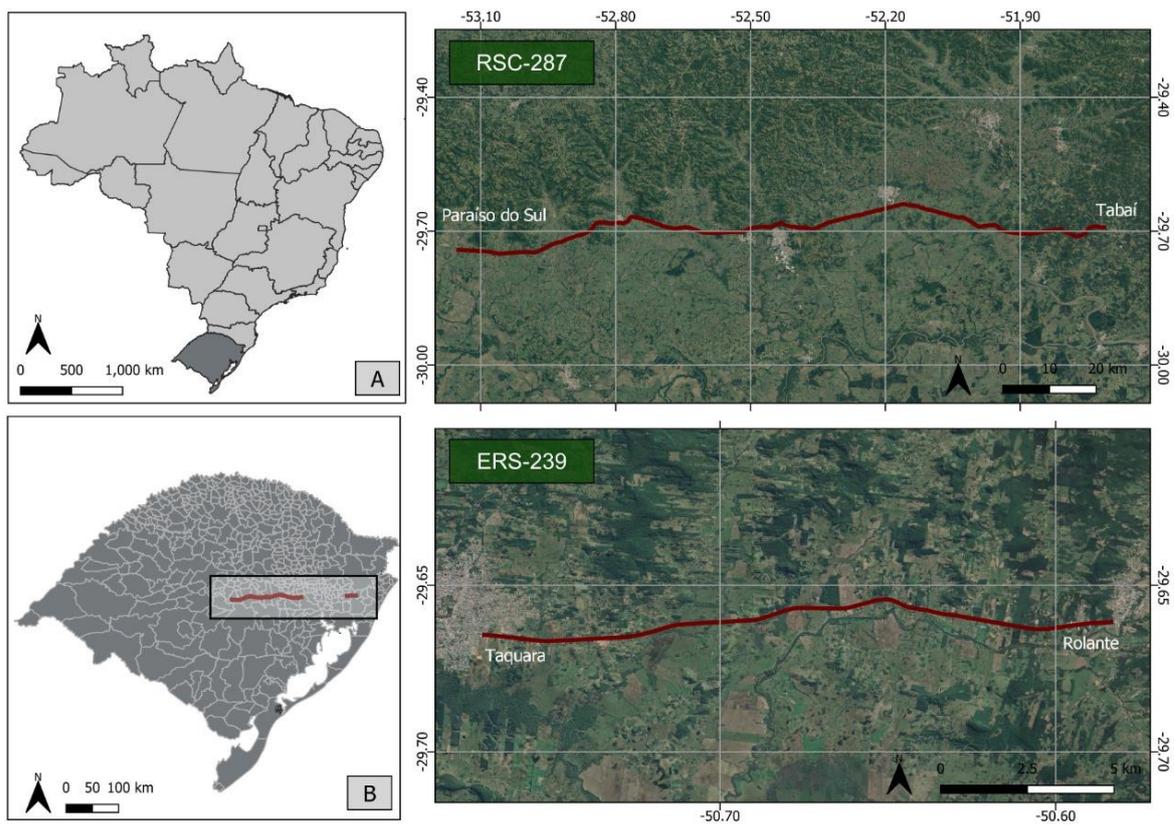


Figura 1: Indicação da localização da área de estudo na escala nacional (A), estadual (B) e local (C), destacando os dois trechos estudados (RSC-287 e ERS-239) em vermelho.

Coleta de dados

Fatalidades

Os dados de fatalidades de avifauna utilizados nesse estudo são provenientes do monitoramento de fauna atropelada feito para o Programa de Proteção e Monitoramento de Fauna da EGR, executado em parceria entre a empresa Serviços Técnicos de Engenharia S.A (STE) e o Núcleo de Ecologia de Rodovias e Ferrovias (NERF/UFRGS). Foram realizadas duas campanhas com oito dias de amostragem consecutivos, nas estações com maiores índices de atropelamentos (primavera/verão). O método de oito dias de amostragem em cada campanha permite aumentar a detecção de animais não encontrados nos primeiros dias e que permaneceram disponíveis durante o período de amostragem. O trecho da RSC-287 foi amostrado entre 25 de outubro a 01 de novembro de 2019 (entre os km 28 ao 78) e entre 15 a 22 de novembro de 2019 (entre os km 78 e 176) na primeira campanha, e entre 09 a 16 de dezembro de 2019 (entre os km 28 ao 78) e 21 a 28 de janeiro de 2020 (entre os km 78 ao 176) na segunda campanha. Já o trecho da ERS-239, a primeira campanha de monitoramento foi realizada de 25 de outubro a 01 de novembro de 2019 e a segunda de 05 a 12 de dezembro de 2019. As amostragens foram realizadas com equipes diferentes entre campanhas e consideramos a capacidade de detecção dos observadores homogêneas entre equipes e espaço. Em cada monitoramento dois observadores deslocaram-se em um veículo a 50 km/h, cada um buscando por carcaças em uma das faixas de rodagem e no respectivo acostamento. Em rodovias com duas pistas em cada sentido, o monitoramento foi feito em cada lado separadamente. Para cada carcaça registrada, obtivemos a coordenada geográfica (UTM; SIRGAS2000; fuso 22S), o registro fotográfico e a identificação no menor nível taxonômico possível, definido em campo ou posteriormente através de identificação dos registros fotográficos por especialista. Cada carcaça foi mantida no local e marcada com spray evitando dupla contagem ao longo dos dias de duração de cada campanha de monitoramento.

Características da rodovia e seu entorno imediato

Dividimos os trechos rodoviários em segmentos de 100 m que foram utilizados como unidade amostral nas análises. Em cada segmento coletamos a altura da vegetação da faixa de domínio, a proporção da extensão da margem do segmento que teve a vegetação manejada, a presença de canteiro central, a topografia do terreno adjacente, a proporção da extensão do segmento com presença de cercas, a presença de via adjacente, a largura do acostamento, o número de edificações, a presença de ponte e a largura da pista (para detalhes da obtenção das variáveis, unidade de medida e exemplos ver MS 2). Obtivemos essas variáveis a partir da revisão de imagens do Google Street View datadas de 2019 e acessadas pelo software Google Earth Pro 7.3. Dividimos cada unidade amostral (segmento de 100 m) em quatro quadrantes em cada margem da via para auxiliar na extração minuciosa das características locais da rodovia, pois observamos que em um segmento de 100 m havia variações nas características. Portanto, após a extração da informação em cada quadrante, o valor final da variável para o segmento foi a moda ou o somatório dos valores dos quadrantes, dependendo da variável (MS 3). Todas as informações foram extraídas por um mesmo observador e para manter a consistência ao longo do processo de revisão utilizamos imagens de referência para cada estado das variáveis (MS 3).

Características da paisagem adjacente

Embora reconheçamos que a rodovia e seu entorno imediato também compõem a paisagem, utilizamos o termo paisagem ou paisagem adjacente para designar as variáveis de contexto obtidas em escalas que incluem a faixa de domínio e extensões para além dela, todas elas correspondendo a aspectos do uso do solo e cobertura vegetal.

Para a extração das variáveis de paisagem utilizamos a coleção 5 de mapas de uso e cobertura da terra dos biomas Mata Atlântica e Pampa do MapBiomas (Souza et al. 2020).

Utilizamos 11 classes de uso e cobertura (MS 2) e para cada uma obtivemos a porcentagem de cobertura de cada classe em buffers de múltiplos raios centrados nos segmentos de 100 metros de cada rodovia. Utilizamos raios com intervalos de 50 m entre raios de 100 a 500 m e entre as extensões de raio de 500 a 1000 m com intervalos de 100 m. Extraímos cada uma das variáveis através do pacote *landscapemetrics* v1.3 (Maximillian & Hesselbarth 2021) no programa R (R Core Team 2021) utilizando a métrica *pland*.

Análise de dados

Categorizamos as aves com base na opinião de um especialista de acordo com a frequência de uso da rodovia em dois grupos: 1) atribuímos a categoria “não frequentes” para todas as espécies que apenas cruzam a via mas não possuem o comportamento de utilização (ex: pouso, forrageio, termorregulação) das estruturas rodovia ou raramente o adotam e 2) a categoria “frequentes” àquelas espécies que frequentemente pousam na via e/ou forrageiam na faixa de rodagem e acostamento. Portanto, realizamos todas as análises subsequentes para três conjuntos de dados: aves geral (todos os registros), aves não frequentes e aves frequentes.

Os trechos RSC-287 e ERS-239 foram divididos, respectivamente, em 912 e 76 segmentos de 100 m que foram considerados como unidades amostrais e posteriormente analisados de forma conjunta. O tamanho do segmento (100 m) foi escolhido para garantir o maior nível de detalhamento do local e ainda assim considerar possíveis deslocamentos das carcaças. Para explorar as relações das variáveis preditoras da rodovia e da paisagem com as fatalidades das aves, consideramos o número de atropelamentos em cada segmento de 100 m como variável resposta. Para o conjunto de dados de aves geral selecionamos todos os segmentos (549) em que havia algum registro de carcaça de aves e sorteamos a mesma proporção de segmentos sem atropelamentos (441). Os segmentos sem atropelamento também foram utilizados nas análises dos conjuntos de dados das aves não frequentes e frequentes, que possuem 219 e 248 segmentos com atropelamentos, respectivamente.

No primeiro passo analítico competimos modelos com as diferentes escalas de cada classe de cobertura (variáveis da paisagem) e um modelo nulo para identificar a melhor escala de efeito (Jackson & Fahrig 2015) para cada conjunto de variável resposta (geral, aves não frequentes e aves frequentes) (MS 4). Utilizamos modelos lineares generalizados com distribuição Poisson (Zuur et al. 2009) usando a função *glm* do pacote *stats* (R Core Team 2021). A escala de efeito foi selecionada utilizando o Critério de Informação de Akaike (AIC) (Burnham et al., 2002) correspondendo ao modelo com o menor valor de AIC e o delta AIC < 2 (MS4).

No passo seguinte, em uma exploração inicial, ajustamos três diferentes modelos lineares generalizados com distribuição Poisson (Zuur et al. 2009) usando a função *glm* do pacote *stats* (R Core Team 2021) para cada uma dos conjuntos de variáveis resposta: 1- modelo com todas as variáveis, 2 – modelo com as variáveis da rodovia e entorno imediato 3 – modelo com as variáveis da paisagem local. Como todos os modelos explorados explicavam pouco da variação dos dados (<10%) independente do conjunto de variáveis preditoras ou variáveis resposta utilizadas, optamos por utilizar a abordagem de modelos ponderados para avaliar a relação dos preditores com as fatalidades de aves. Os detalhes sobre essa exploração inicial estão contidos no Material Suplementar (MS 5).

Por fim, para cada conjunto de variáveis resposta, avaliamos todas as combinações possíveis entre as variáveis da rodovia e entorno imediato e as variáveis da paisagem adjacente, nas respectivas escalas de efeito selecionadas, para gerar os modelos candidatos utilizando a função *dredge* do pacote MuMIn (Bartón 2020). Utilizamos todas as combinações de modelos igualmente plausíveis (com delta AIC menor que dois) para gerar um modelo ponderado para avaliar a relação das variáveis preditoras com o número de fatalidade de aves com a função *model.avg* do pacote MuMIn (Bartón 2020). Também, calculamos os valores de importância de cada variável considerada nos modelos finais. Modelos ponderados são uma

forma de incorporar a incerteza na seleção de modelos, na qual os parâmetros estimados para cada modelo candidato são pesados usando os pesos de AIC de cada um desses modelos (Grueber et al. 2011). Resultados intermediários dessa modelagem estão apresentados no Material Suplementar (MS 6).

Resultados

A maioria das variáveis selecionadas para os conjuntos de dados de aves usuárias frequentes e não frequentes também foram selecionadas para o conjunto de aves geral, porém com valores de importância ou escalas de efeito diferentes. As variáveis Soja, Corpos D'Água e Tamanho da Pista foram selecionadas exclusivamente para aves frequentes na via. Já as variáveis Formação Campestre e Via Adjacente apareceram apenas para o conjunto de aves geral (Tabela 1).

Aves Geral

O conjunto de dados de aves geral é composto por 779 registros de aves (inclusos os registros não identificados a nível de espécie) observados nos trechos da RSC-287 e ERS-239, variando de 0 a 7 atropelamentos por segmento. Foram identificadas 52 espécies, sendo *Zenaida auriculata* (Avoante, n=71), *Furnarius rufus* (João-de-barro, n=69), *Columbina talpacoti* (Rolinha-roxa, n=28) e *Coccyzus melacoryphus* (Papa-lagarta-acanelado, n=28) as mais numerosas (MS 1).

Através da seleção da escala de efeito das variáveis de paisagem foram escolhidas diferentes classes com escalas distintas: Formação Florestal (100 m), Floresta Plantada (1000 m), Formação Campestre (50 m), Pastagem (1000 m), Mosaico de Agricultura e Pastagem (1000 m), Infraestrutura Urbana (100 m), Outras Áreas não Vegetadas (400 m), Outras Lavouras Temporárias (250 m). As classes Campo Alagado, Corpos D'água e Soja foram excluídas das análises por não apresentarem nenhuma escala melhor que o modelo nulo (MS

5). Em conjunto com as classes de paisagem escolhidas, sete variáveis de rodovia (tipologia de Acostamento, Cerca, Canteiro Central, Manejo de Margem, Vegetação da Faixa de Domínio, Via Adjacente e Ponte) foram selecionadas para compor diferentes modelos ponderados (MS 6).

Apenas as variáveis de Infraestrutura Urbana, Acostamento largo e presença de Cerca tiveram relações positivas com as fatalidades de aves, já as variáveis Outras Áreas não Vegetadas, Formação Florestal, Pastagem, Floresta Plantada, ausência de Acostamento e Ponte apresentaram relações negativas (Figura 2). Os valores de importância para cada variável são apresentados na Tabela 1.

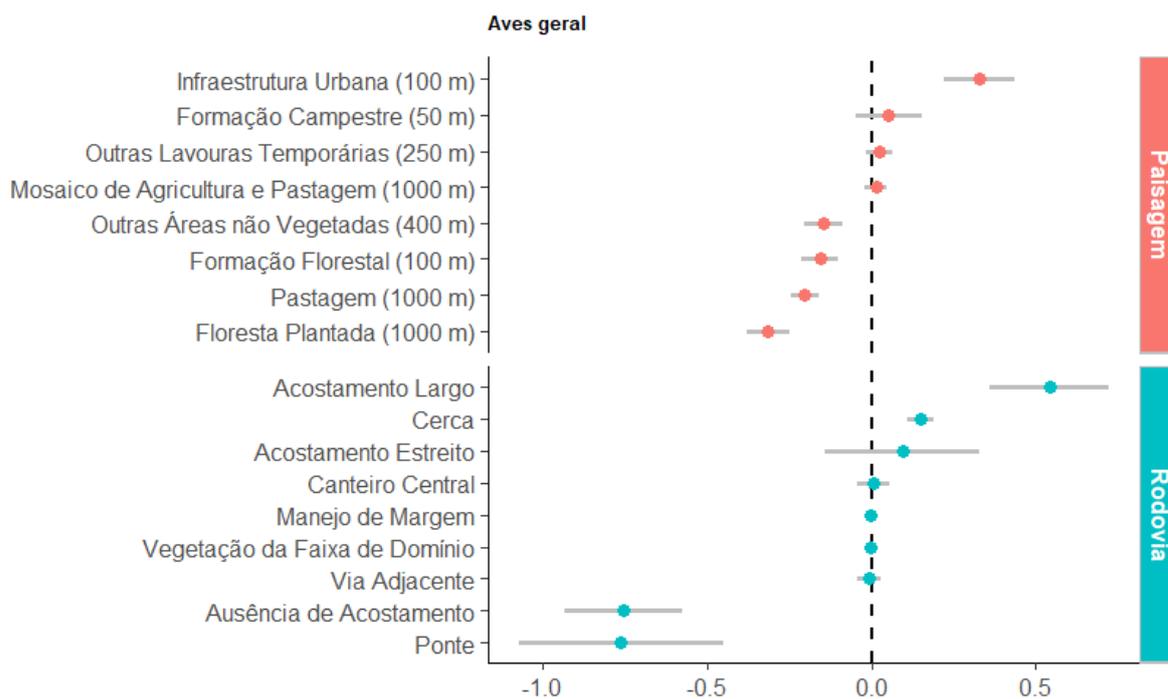


Figura 2: Coeficientes e erros (barras cinzas) dos modelos de associação entre as variáveis de paisagem e de rodovia considerando o conjunto total de fatalidades de aves nas rodovias RSC-287 e ERS-239. Valores que não sobrepõem o eixo 0.0 demonstram relações significativas.

Tabela 1: Valores de importância para cada variável da paisagem adjacente e da rodovia e seu entorno imediato para diferentes conjuntos de dados de fatalidades de aves nas rodovias RSC-287 e ERS-239.

Tipo de variável	Variáveis	Escala (m)	Aves geral	Aves não frequentes na via	Aves frequentes na via
Paisagem	Infraestrutura Urbana	100	1	1	
	Formação Campestre	50	0.35		
		250	0.37		
	Outras Lavouras Temporárias	50			0.92
		150		1	
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	250			0.21
		1000	0.27	1	
	Outras Áreas não Vegetadas	400	1		
	Formação Florestal	100	1		1
	Pastagem	1000	1		1
	Floresta Plantada	1000	1		1
		700		0.59	
		Soja	1000		
	Corpos D'Água	300			0.68
Rodovia	Acostamento	-	1		1
	Cerca	-	1		0.95
	Canteiro Central	-	0.13		0.64
	Manejo de Margem	-	0.06		0.11
	Vegetação da Faixa de Domínio	-	0.1		1
	Ponte	-	1		0.75
	Tamanho da Pista	-			0.3
	Via Adjacente	-	0.12		

Aves não frequentes na via

O conjunto de dados classificado como aves não frequentes teve o total de 254 registros, incluindo 42 espécies, sendo a espécie *Coccyzus melacoryphus* (Papa-lagarta-acanelado) a mais frequente atropelada com 28 registros (MS 1). Para essa classificação de conjunto de dados apenas as classes Infraestrutura Urbana (100 m), Outras Lavouras Temporárias (150 m), Mosaico de Agricultura e Paisagem (1000 m) e Floresta Plantada (700 m) foram selecionadas pela análise de escala de efeito e pelos modelos ponderados. Nenhuma variável da rodovia foi selecionada pelos modelos ponderados (MS 6). Apenas as variáveis de Infraestrutura Urbana,

Outras Lavouras Temporárias e Mosaico de Agricultura e Paisagem tiveram relações positivas com as fatalidades de aves e nenhuma variável apresentou relações negativas (Figura 3). Os valores de importância para cada variável são apresentados na Tabela 1.

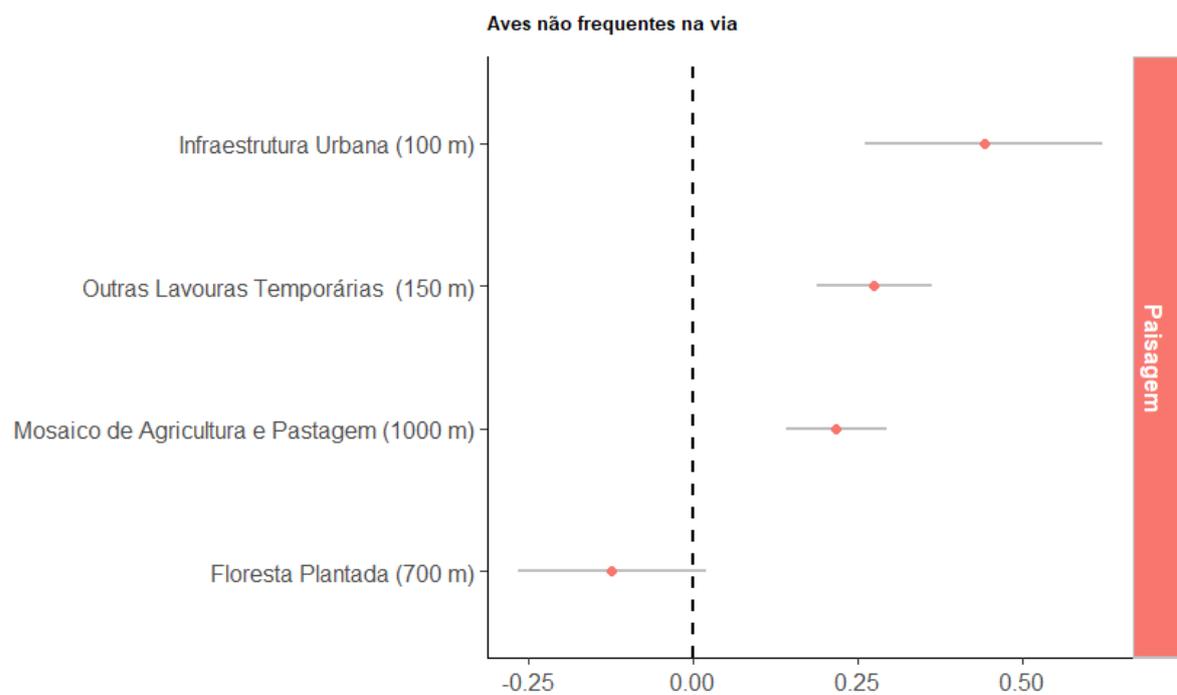


Figura 3: Coeficientes e erros (barras cinzas) dos modelos de associação entre as variáveis de paisagem e de rodovia considerando o conjunto de fatalidades de aves não frequentes nas rodovias RSC-287 e ERS-239. Valores que não sobrepõem o eixo 0.0 demonstram relações significativas.

Aves frequentes na via

As aves frequentes na rodovia totalizaram 296 registros, incluindo 10 espécies sendo *Zenaida auriculata* (Avoante) a mais frequente atropelada com 71 registros (MS 1). Para esse conjunto de dados foram selecionadas as seguintes variáveis da paisagem local em suas respectivas escalas: Outras Lavouras Temporárias (50 m), Soja (1000 m), Mosaico de Agricultura e Pastagem (250 m), Formação Florestal (100 m), Pastagem (1000 m), Corpos D'Água (300 m), Floresta Plantada (1000 m). Já as variáveis da rodovia selecionadas pelos modelos ponderados foram: presença de Canteiro Central, somatória do Acostamento, presença

de Cerca, Tamanho da Pista, altura da Vegetação da Faixa de Domínio e presença de Ponte (MS 6 e Figura 4). As variáveis de Outras Lavouras Temporárias, Soja, Acostamento e Cerca tiveram relações positivas com as fatalidades de aves frequentes na via. As classes Formação Florestal, Pastagem, Floresta Plantada tiveram relações negativas junto com as variáveis da rodovia de Vegetação da faixa de Domínio e Ponte (Figura 4). Os valores de importância para cada variável são apresentados na Tabela 1.

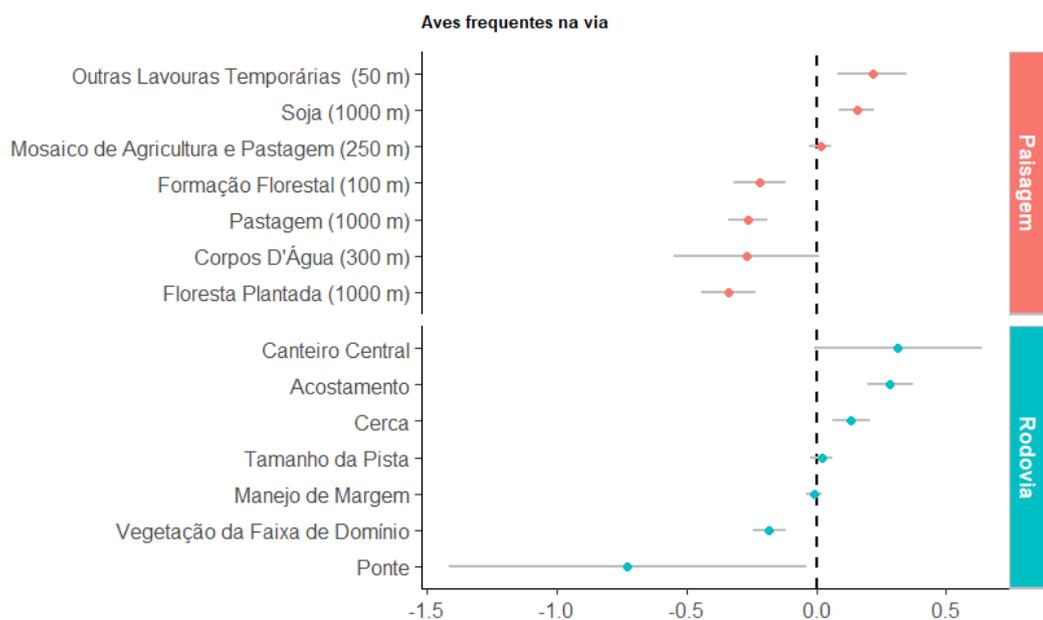


Figura 4: Coeficientes e erros (barras cinzas) dos modelos de associação entre as variáveis de paisagem e de rodovia considerando o conjunto de fatalidades de aves frequentes nas rodovias ERS-287 e RSC-239. Valores que não sobrepõem o eixo 0.0 demonstram relações significativas.

Discussão

Nesse estudo evidenciamos a importância de analisar a associação entre fatalidades com variáveis preditivas considerando não só fatores da paisagem adjacente em diferentes escalas, mas também aspectos do ambiente da rodovia e seu entorno imediato. Ao subdividirmos o conjunto geral das fatalidades de aves em dois subconjuntos agrupados pela frequência de uso da rodovia pelas aves, ficou evidente que as variáveis da rodovia e seu entorno imediato foram importantes apenas para aquelas que interagem mais diretamente com a rodovia. Entretanto, reconhecemos que mesmo encontrando padrões de relações entre os grupos e as variáveis, isso explica uma pequena parcela dos dados, logo outras potenciais relações precisam ser investigadas.

Trabalhos que avaliam relações com as fatalidades de dados de múltiplas espécies podem estar mascarando associações específicas para conjuntos de espécies com comportamentos e abundâncias diferentes (Teixeira et al. 2013; Dasoler 2020; Silveira Miranda et al. 2020). Como evidenciamos aqui, a identificação de grupos-alvo ou funcionais revelou associações distintas com variáveis que podem ser sujeitas a intervenções de manejo pela operadora da rodovia e que não ficaria evidente o grupo de espécies beneficiárias dessas possíveis intervenções caso essa classificação em grupos não fosse considerada. Diferentemente do que acontece entre os mamíferos (Grilo et al. 2018), as fatalidades de aves registradas nos monitoramentos em geral envolvem uma riqueza maior de espécies, muitas delas com registros únicos de fatalidades (Rosa & Bager 2012). O número pequeno de registros por espécie não permite avaliações individualizadas de associação com variáveis ambientais e as análises utilizando o conjunto de espécies mascaram associações que podem ser importantes para tomada de decisão.

Algumas das nossas variáveis de formações vegetais abertas (ex. Mosaico de Agricultura e Pastagem e Infraestrutura Urbana) apresentaram relações positivas com as fatalidades de

aves enquanto paisagens com predomínio de formações vegetais fechadas tiveram associações negativas. Possivelmente isso decorre da maior abundância de aves nessas paisagens mais abertas (Møller et al. 2011) e da possibilidade das rodovias aparentemente não serem identificadas como elemento estranho (clareira e barreira) para o deslocamento de aves associadas a estes ambientes, aumentando o número de indivíduos expostos ao risco de colisão em rodovias. As relações encontradas com as classes de Infraestrutura Urbana (relação positiva e ambiente com abundância de espécies comuns) e a relação negativa com a classe de Outras Áreas Não Vegetadas, provável ambiente inóspito para aves, reforçam essa percepção.

Uma hipótese complementar para explicar a maior abundância de fatalidades em contextos de vegetação mais aberta pode ser a altura de voo. Em locais de vegetação mais baixa a altura de voo das aves seria em média mais baixa e, portanto, a exposição à colisão com veículos maior (Hernandez 1988). Por outro lado, nessas condições ambientais, a visibilidade das aves é maior e a detecção de um veículo em aproximação e a adoção de comportamentos evasivos poderia compensar essa maior exposição, contudo essa expectativa não condiz com o padrão observado. A relação negativa que encontramos entre a abundância de fatalidades de aves que frequentemente usam as rodovias e a altura da vegetação na faixa de domínio condiz com o que seria esperado pela hipótese de altura de voo. Será fundamental em um futuro próximo estimar a altura média de voo em diferentes condições de vegetação de margem da rodovia por diferentes grupos de espécies. Demonstrar claramente essa associação entre o número de fatalidades e a altura de voo na travessia de estradas tem implicações importantes para o planejamento da mitigação.

O manejo da altura de voo das aves tem sido uma das poucas ações de mitigação sugeridas para o grupo das aves por meio da instalação de estruturas que forcem os animais a aumentarem a altura do voo para cruzar as estradas, como por exemplo, os postes instalados em rotas de passagens de aves aquáticas por Zuberogoitia et al. (2015). Se confirmada essa

associação entre altura de voo e fatalidades, outras alternativas à implantação de postes devem ser avaliadas. As próprias cercas adotadas para impedir o acesso de mamíferos de médio e grande porte às estradas podem ter um efeito mitigante para as aves ao conduzi-las para voos mais altos (Kociolek et al. 2015). Outras alternativas de manejo, como o paisagismo da faixa de domínio com vegetação arbórea (que não comprometa a segurança viária) e que incremente a altura de voo das aves também poderão ser testadas, uma vez que apresentam custos de implantação e manutenção talvez menores.

Um aspecto preocupante revelado pelas nossas análises é a aparente disponibilização de condições favoráveis à algumas espécies de aves oferecidas por características estruturais das rodovias e decorrentes do manejo no seu entorno. Nossas variáveis de estruturas locais, como Largura do Acostamento e presença de Cerca obtiveram valores de importância altos e relações positivas com as fatalidades de aves que usam com frequência a rodovia. O acostamento acaba sendo uma área disponível para pouso, ocorrendo maior número de fatalidades onde é mais largo, ou porque é mais utilizado nessas condições por ser percebido como de menor risco de colisão e/ou porque, em função da maior área, acumulam-se mais sementes provenientes de derramamento de cargas ou carcaças de outros animais atropelados. As cercas junto à rodovia são estruturas baixas (menores que a altura de um carro) e que podem servir como poleiro de onde as aves alçam voo, expondo-se mais frequentemente ao atropelamento (Jacek et al. 2020).

Condições aparentemente favoráveis podem na verdade resultar em uma armadilha ecológica, como encontrado em Ben-Aharon et al. (2020), onde a espécie *Oenanthe lugens* mudou a escolha do território para a beira da estrada por ser um local com menor competição devido à alta mortalidade. O controle dessas condições estruturais da rodovia e do manejo do seu entorno devem receber atenção especial e algumas alternativas devem ser testadas através de abordagens experimentais. Por exemplo, considerando as nossas variáveis encontradas, em

zonas com maior concentração de fatalidades o manejo da vegetação da faixa de domínio deveria priorizar alturas superiores aos veículos; a fiscalização e remoção de cercas que estão construídas junto a via, dentro da faixa de domínio, deve ser promovida (DNIT 2020). Apesar dos desafios, é urgente que mecanismos criativos sejam testados para reduzir as fatalidades de aves em rodovias já em operação.

Conclusão

Nossos resultados evidenciaram que as fatalidades de diferentes grupos de aves estão associadas com características distintas da paisagem e que para pelo menos alguns grupos as variáveis explanatórias encontradas estão sob a governança dos empreendedores responsáveis pela operação das rodovias. Portanto, uma das prioridades futuras deve ser a experimentação de algumas das alternativas propostas para avaliar a efetividade para a mitigação das fatalidades de aves. Um aspecto importante a ser investigado é em que medida a altura de voo está associada à exposição ao atropelamento e como intervir para que a exposição e letalidade diminua.

Referências

- Arnold EM, Hanser SE, Regan T, et al (2019) Spatial, road geometric and biotic factors associated with Barn Owl mortality along an interstate highway. *Ibis* (Lond 1859) 161:147–161. <https://doi.org/10.1111/IBI.12593>
- Bacon MM, Becic GM, Epp MT, Boyce MS (2011) Do GPS clusters really work? Carnivore diet from scat analysis and GPS telemetry methods. *Wildl Soc Bull* 35:409–415
- Bard AM, Smith HT, Egensteiner ED, et al (2002) A Simple Structural Method to Reduce Road-Kills of Royal Terns at Bridge Sites. *Wildl Soc Bull* 30:603–605
- Bartón K (2020) Package “MuMIn” Title Multi-Model Inference. Available on:

<http://mumin.r-forge.r-project.org/MuMIn-manual.pdf> (date: 2021/09/13)

Ben-Aharon N, Kapota D, Saltz D (2020) Roads and Road-Posts as an Ecological Trap for Cavity Nesting Desert Birds. *Front Conserv Sci* 0:6. <https://doi.org/10.3389/FCOSC.2020.614899>

BirdLife International (2018) State of the world's birds: taking the pulse of the planet. Cambridge, UK: BirdLife International

Bishop CA, Brogan JM (2013) Estimates of Avian Mortality Attributed to Vehicle Collisions in Canada. *Avian Conserv Ecol* 8:. <https://doi.org/10.5751/ACE-00604-080202>

Borda-de-Água L, Grilo C, Pereira HM (2014) Modeling the impact of road mortality on barn owl (*Tyto alba*) populations using age-structured models. *Ecol Modell* 276:29–37. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2013.12.022>

Boves TJ, Belthoff JR (2012) Roadway mortality of barn owls in Idaho, USA. *J Wildl Manage* 76:1381–1392. <https://doi.org/10.1002/JWMG.378>

Burnham KP, Anderson DR, Burnham KP Model selection and multimodel inference : a practical information-theoretic approach. 208

Chen HL, Koprowski JL (2016) Barrier effects of roads on an endangered forest obligate: influences of traffic, road edges, and gaps. *Biol Conserv* 199:33–40. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2016.03.017>

Cook TC, Blumstein DT (2013) The omnivore's dilemma: Diet explains variation in vulnerability to vehicle collision mortality. *Biol Conserv* 167:310–315. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2013.08.016>

Dasoler BT (2020) Espécies dominantes determinam o padrão espacial de hotspots de fatalidades em análises com múltiplas espécies em ferrovias. Dissertação Capítulo II (Mestrado em Ecologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul

De Felipe M, Sáez-Gómez P, Camacho C (2019) Environmental factors influencing road use in a nocturnal insectivorous bird. *Eur J Wildl Res* 2019 653 65:1–7. <https://doi.org/10.1007/S10344-019-1267-5>

Dean W, Milton S (2009) The importance of roads and road verges for raptors and crows in the Succulent and Nama-Karoo, South Africa.

<http://dx.doi.org/102989/00306520309485391> 74:181–186.

DeVault TL, Blackwell BF, Seamans TW, et al (2014) Effects of Vehicle Speed on Flight Initiation by Turkey Vultures: Implications for Bird-Vehicle Collisions. *PLoS One* 9:e87944. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0087944>

DeVault TL, Blackwell BF, Seamans TW, et al (2015) Speed kills: ineffective avian escape responses to oncoming vehicles. *Proc R Soc B Biol Sci* 282:. <https://doi.org/10.1098/RSPB.2014.2188>

DNIT (2020) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. RESOLUÇÃO Nº 9, DE 12 DE AGOSTO DE 2020 - Capítulo VII. Disponível em <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-9-de-12-de-agosto-de-2020-273292434>

EGR - EMPRESA GAÚCHA DE RODOVIAS Volume de Tráfego. <https://www.egr.rs.gov.br/conteudo/1716/volume-de-trafego>. Acessado em 13 setembro 2021

Erritzoe J, Mazgajski TD, Rejt Ł (2003) Bird Casualties on European Roads — A Review. <https://doi.org/103161/0680380204> 38:77–93. <https://doi.org/10.3161/068.038.0204>

Forman RTT, Reineking B, Hersperger AM (2002) Road Traffic and Nearby Grassland Bird Patterns in a Suburbanizing Landscape. *Environ Manag* 2002 296 29:782–800. <https://doi.org/10.1007/S00267-001-0065-4>

Gomes L, Grilo C, Silva C, Mira A (2008) Identification methods and deterministic factors of owl roadkill hotspot locations in Mediterranean landscapes. *Ecol Res* 2008 242 24:355–370. <https://doi.org/10.1007/S11284-008-0515-Z>

Grilo C, Coimbra MR, Cerqueira RC, et al (2018) BRAZIL ROAD-KILL: a data set of wildlife terrestrial vertebrate road-kills. *Ecology* 99:2625–2625. <https://doi.org/10.1002/ecy.2464>

Grilo C, Reto D, Filipe J, et al (2014) Understanding the mechanisms behind road effects: linking occurrence with road mortality in owls. *Anim Conserv* 17:555–564. <https://doi.org/10.1111/ACV.12120>

Grueber CE, NAKAGAWA S, LAWS RJ, JAMIESON IG (2011) Multimodel inference in ecology and evolution: challenges and solutions. *J Evol Biol* 24:699–711. <https://doi.org/10.1111/J.1420-9101.2010.02210.X>

- Hernandez M (1988) ROAD MORTALITY OF THE LITTLE OWL (*Athene noctua*) IN SPAIN. *Raptor Res* 22:81–84
- Husby M (2017) Traffic Influence on Roadside Bird Abundance and Behaviour. *Acta Ornithologica*, 52(1), 93-103. <https://doi.org/10.3161/00016454AO2017.52.1.009>
- Jacek B, Jankowiak Ł, Sparks TH, Tryjanowski P (2020) Birds crossing over roads: species, flight heights and infrastructure use. *Eur J Ecol* 6:41–48. <https://doi.org/10.17161/EUROJECOL.V6I2.14788>
- Jackson HB, Fahrig L (2015) Are ecologists conducting research at the optimal scale? *Glob Ecol Biogeogr* 24:52–63. <https://doi.org/10.1111/GEB.12233>
- Jacobson SL (2005) Mitigation measures for highway-caused impacts to birds. *Bird Conserv Implement Integr Am Proc Third Int Partners Flight Conf* 2:1043–1050
- Johnson CD, Evans D, Jones D (2017) Birds and Roads: Reduced Transit for Smaller Species over Roads within an Urban Environment. *Front Ecol Evol* 0:36. <https://doi.org/10.3389/FEVO.2017.00036>
- Kociolek A, Grilo C, Jacobson S (2015) Flight doesn't solve everything: Mitigation of road impacts on Birds. van der Ree, Rod Smith, Daniel J; Grilo, Clara, eds *Handb Road Ecol* Chichester, UK John Wiley Sons, Ltd 281-289 Chapter 33 281–289. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.CH33>
- Loss SR, Will T, Marra PP (2015) Direct Mortality of Birds from Anthropogenic Causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 2015 46:1, 99-120 <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054133>
- Loss SR, Will T, Marra PP (2014) Estimation of bird-vehicle collision mortality on U.S. roads. *J Wildl Manage* 78:763–771. <https://doi.org/10.1002/JWMG.721>
- Massemin S, Maho YL, Handrich Y (1998) Seasonal pattern in age, sex and body condition of Barn Owls *Tyto alba* killed on motorways. *Ibis (Lond 1859)* 140:70–75. <https://doi.org/10.1111/J.1474-919X.1998.TB04543.X>
- Maximillian M, Hesselbarth HK (2021) Package “landscapemetrics” Type Package Title Landscape Metrics for Categorical Map Patterns
- Møller AP, Erritzøe H, Erritzøe J (2011) A behavioral ecology approach to traffic accidents:

- interspecific variation in causes of traffic casualties among birds. *Dongwuxue Yanjiu* 32:115–127. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1141.2011.02115>
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/oxygen-consuming-substances-in-rivers/r-development-core-team-2006>. Accessed 13 Sep 2021
- Rosa CA da, Bager A (2012) Seasonality and habitat types affect roadkill of neotropical birds. *J Environ Manage* 97:1–5. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2011.11.004>
- Row JR, Blouin-Demers G, Weatherhead PJ (2007) Demographic effects of road mortality in black ratsnakes (*Elaphe obsoleta*). *Biol Conserv* 137:117–124. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2007.01.020>
- Seo C, Thorne JH, Choi T, et al (2013) Disentangling roadkill: the influence of landscape and season on cumulative vertebrate mortality in South Korea. *Landsc Ecol Eng* 2013 111 11:87–99. <https://doi.org/10.1007/S11355-013-0239-2>
- Silveira Miranda JE, de Melo FR, Keichi Umetsu R (2020) Are Roadkill Hotspots in the Cerrado Equal Among Groups of Vertebrates? *Environ Manag* 2020 654 65:565–573. <https://doi.org/10.1007/S00267-020-01263-Y>
- Soares CM, Dias RI (2020) Look both ways: factors affecting roadkill probability in Blue-black Grassquits (*Volatinia jacarina*). <https://doi.org/10.1139/cjz-2020-0004> 98:603–610. <https://doi.org/10.1139/CJZ-2020-0004>
- Souza CM, Shimbo JZ, Rosa MR, et al (2020) Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sens* 2020, Vol 12, Page 2735 12:2735. <https://doi.org/10.3390/RS12172735>
- Teixeira FZ, Coelho IP, Esperandio IB, et al (2013) Are road-kill hotspots coincident among different vertebrate groups? *Oecologia Aust* 17:36–47
- Vidal-Vallés D, Rodríguez A, Pérez-Collazos E (2018) Bird roadkill occurrences in Aragon, Spain. *Anim Biodivers Conserv* 41:379–388. <https://doi.org/10.32800/ABC.2018.41.0379>
- Zuberogoitia I, del Real J, Torres JJ, et al (2015) Testing pole barriers as feasible mitigation measure to avoid bird vehicle collisions (BVC). *Ecol Eng* 83:144–151. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2015.06.026>

Zuur AF, Ieno EN, Walker N, et al (2009) Mixed effects models and extensions in ecology with R. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>

Lista Materiais Suplementares

MS 1 - Lista de registros das fatalidades – Classificação das espécies

MS 2 - Lista de variáveis resposta e preditoras

MS 3 - Coleta detalhada das variáveis de características da rodovia

MS 4- Seleção de escalas das variáveis preditoras para cada conjunto de dados

MS 5 - Análise de dados intermediária – Modelos Lineares Generalizados

MS 6 - Resultados dos modelos candidatos utilizados nos modelos ponderados

Materiais Suplementares

Material Suplementar I (MS1) – Lista de registros das fatalidades – Classificação das espécies

No **Quadro MS 1** são apresentados a lista de espécies registradas nas duas campanhas de monitoramento dos trechos das rodovias RSC-287 e ERS-239 e a classificação comportamental de frequência de uso da rodovia. Consideramos *N* para aves que evitam ou usam pouco as estruturas da rodovia e *S* para aves que visitam com frequência as estruturas da rodovia, por exemplo, comportamentos de pouso na via.

Quadro MS 1. Lista de espécies registradas atropeladas na RSC-287 e ERS-239 nas duas campanhas de monitoramentos (16 dias). Número de registros em ordem crescente para cada espécie e classificação ao uso da rodovia. **NI** – Não Identificado; **NA**- Não se aplica; **N**- espécies não frequentes na via; **S**- espécies frequentes na via.

Espécie	Frequência de uso da rodovia	RSC-287	ERS-239	Total
<i>Zenaida auriculata</i>	S	71	0	71
<i>Furnarius rufus</i>	S	62	7	69
Columbidae	S	39	0	39
Passeriformes	NA	30	3	33
<i>Coccyzus melacoryphus</i>	N	28	0	28
<i>Columbina talpacoti</i>	S	27	1	28
<i>Sicalis</i> sp.	S	26	1	27
<i>Turdus rufiventris</i>	N	23	1	24
<i>Columbina picui</i>	S	20	1	21
<i>Crotophaga ani</i>	N	19	0	19
<i>Gura gura</i>	N	16	2	18
<i>Paroaria coronata</i>	S	18	0	18
<i>Pitangus sulphuratus</i>	N	15	2	17
Tyrannidae	NA	15	1	16
<i>Sicalis flaveola</i>	S	14	1	15
<i>Tyrannus melancholicus</i>	N	14	1	15
<i>Tyrannus savana</i>	N	12	2	14
<i>Ortalis squamata</i>	N	10	2	12
<i>Coryphospingus cucullatus</i>	N	10	0	10
<i>Tangara sayaca</i>	N	10	0	10
<i>Machetornis rixosa</i>	N	9	0	9
<i>Vanellus chilensis</i>	N	7	1	8
<i>Colaptes melanochloros</i>	N	6	1	7
<i>Aramides</i> sp.	S	5	0	5
<i>Troglodytes musculus</i>	N	5	0	5
<i>Piaya cayana</i>	N	4	0	4
<i>Chloroceryle americana</i>	N	3	0	3
<i>Coereba flaveola</i>	N	2	1	3
<i>Volatinia jacarina</i>	N	3	0	3
<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	N	2	0	2
<i>Saltator similis</i>	N	2	0	2
<i>Sporophila caerulea</i>	N	1	1	2
<i>Sporophila</i> sp.	N	2	0	2
Strigidae	N	2	0	2
<i>Tapera naevia</i>	N	2	0	2
<i>Thamnophilus caerulea</i>	N	2	0	2

Espécie	Frequência de uso da rodovia	RSC-287	ERS-239	Total
<i>Turdus amaurochalinus</i>	N	1	1	2
<i>Turdus</i> sp.	N	2	0	2
<i>Tyto furcata</i>	N	2	0	2
Accipitridae	N	1	0	1
<i>Agelaioides badius</i>	N	1	0	1
Alcedinidae	N	1	0	1
Apodidae	N	1	0	1
<i>Asio clamator</i>	N	1	0	1
<i>Chloroceryle</i> sp.	N	1	0	1
<i>Coccyzus</i> sp.	N	1	0	1
<i>Coragyps atratus</i>	S	0	1	1
Galliformes	N	1	0	1
<i>Hirundinidae</i>	N	1	0	1
<i>Hylocharis chrysura</i>	N	1	0	1
<i>Icterus pyrrhopterus</i>	N	1	0	1
<i>Jacana jacana</i>	N	1	0	1
<i>Leptotila</i> sp.	S	1	0	1
<i>Megascops</i> sp.	N	1	0	1
<i>Microspingus cabanisi</i>	N	1	0	1
<i>Myiodynastes maculatus</i>	N	1	0	1
<i>Nannopterum brasilianus</i>	N	0	1	1
Picidae	N	1	0	1
<i>Pipraeidea bonariensis</i>	N	1	0	1
<i>Setophaga pitiayumi</i>	N	1	0	1
<i>Sturnella superciliaris</i>	N	1	0	1
<i>Tachyphonus coronatus</i>	N	1	0	1
Thraupidae	NA	1	0	1
Trochilidae	N	1	0	1
<i>Trogon surrucura</i>	N	0	1	1
<i>Turdus leucomelas</i>	N	1	0	1
<i>Veniliornis spilogaster</i>	N	1	0	1
<i>Zonotrichia capensis</i>	S	1	0	1
Ave NI	NA	167	12	179
Total		734	45	779

Material Suplementar II (MS2) – Lista de variáveis resposta e preditoras

Em nosso trabalho utilizamos três diferentes conjuntos de dados para a variável resposta: consideramos o conjunto denominado como aves geral todos os registros de fatalidades; o conjunto apenas com a classificação de aves que não são frequentes no uso da rodovia; e outro conjunto apenas com as que utilizam a rodovia, denominado aves frequentes (**Quadro MS 2**). Para as variáveis preditoras utilizamos dois tipos de categorias diferentes, as que são de classes de paisagem adjacente à rodovia e as de características da rodovia (**Quadro MS 3**).

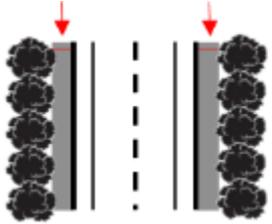
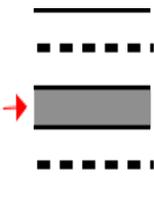
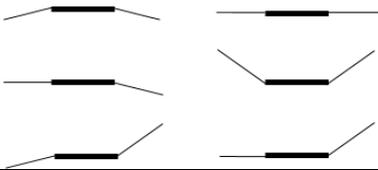
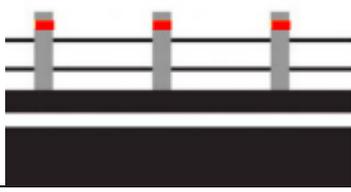
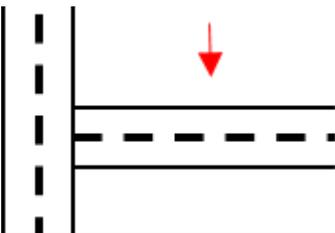
Quadro MS 2. Quantidade de registros utilizados para cada conjunto de dados da variável resposta.

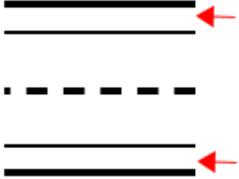
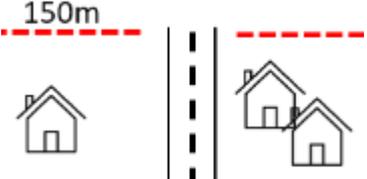
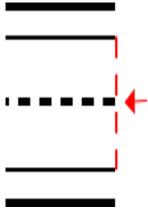
Conjunto de dados	Total de registros	Quantidade máxima de registros por segmento
Aves Geral	779	7
Aves não frequentes	254	3
Aves frequentes	296	3

Quadro MS 3. Descrição das variáveis preditoras da paisagem e da rodovia. As descrições das classes de paisagem são adaptadas da coleção 4 do Mapbiomas.

Paisagem		
Variáveis	Biomias	Descrição
Formação Florestal	Mata Atlântica	Proporção de floresta ombrófila densa, aberta e mista e floresta estacional semidecidual, floresta estacional decidual e formação pioneira arbórea.
	Pampa	Proporção de vegetação com predomínio de espécies arbóreas, com dossel contínuo. Inclui as tipologias florestais: ombrófila, decidual e semidecidual e parte das formações pioneiras.
Floresta Plantada	Mata Atlântica	Proporção de espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. eucalipto, pinus, araucária)
	Pampa	

Campo Alagado e Área Pantanosa	Mata Atlântica	NA
	Pampa	Proporção de banhados (influência fluvial ou lagunar) e marismas (influência marinha)
Formação Campestre	Mata Atlântica	Proporção de savanas e savanas-estépicas, parque e gramíneo-lenhosa, estepe e pioneiras arbustivas e herbáceas.
	Pampa	Proporção de formações campestres com predominância de estrato herbáceo ou de estrato herbáceo lenhoso. Inclui também manchas com estrato arbustivo-herbáceo desenvolvido
Pastagem	Mata Atlântica	Proporção de áreas de pastagens, naturais ou plantadas, vinculadas a atividade agropecuária.
	Pampa	
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Mata Atlântica	Proporção de áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.
	Pampa	
Infraestrutura Urbana	Mata Atlântica	Proporção de áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções.
	Pampa	
Outras Áreas não Vegetadas	Mata Atlântica	Proporção de áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes e regiões de solo exposto em área natural ou em áreas de cultura em entressafra.
	Pampa	Proporção de áreas com superfícies arenosas expostas incluindo principalmente praias fluviais e areais. Também contempla superfícies não permeáveis (estradas e infra-estrutura de empreendimentos rurais).
Corpos D'Água	Mata Atlântica	Proporção de Rio, Lago e Oceano Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
	Pampa	
Soja	Mata Atlântica	Proporção de áreas com plantação de soja.

	Pampa	
Outras Lavouras Temporárias	Mata Atlântica	Proporção de áreas predominantemente ocupadas com cultivos anuais e em algumas regiões com a presença de cultivos perenes.
	Pampa	
Rodovia		
Ilustração	Variáveis	Descrição
	Vegetação da Faixa de Domínio	Altura da vegetação junto à rodovia após a zona de margem.
	Manejo de Margem	Proporção de presença de faixa de vegetação manejada que está em contato com a rodovia.
	Canteiro Central	Presença de área dividindo faixas de rodagem, com presença ou ausência de vegetação.
	Topografia	Categoria de altura do terreno adjacente em relação aos dois lados da rodovia.
	Cerca	Proporção de presença de cercas que estão junto a área da rodovia ou em contato à área de margem.
	Via Adjacente	Qualquer presença de rodovia ou estrada cruzando com o segmento.

	Acostamento	Quantidade ou tipologia da parte da via destinada exclusivamente a parada de veículos.
	Edificações	Número de edificações em um buffer de 150 m da unidade amostral.
	Ponte	Presença de estrutura que liga margens da rodovia sob corpo d'água.
	Tamanho da Pista	Tamanho da faixa de rodagem em metros.

Material Suplementar III (MS3) Coleta detalhada das variáveis de características da rodovia

Para a extração das características da rodovia, cada unidade amostral (segmento de 100 m) foi demarcada e previamente identificada no Google Earth Pro 7.3. A extração das variáveis da rodovia, exceto a Edificação e Tamanho da Pista, foram através da ferramenta de Google Street View. Detalhes do passo-a-passo estão descritos e ilustrados no **Quadro MS 4**. Para garantir a padronização dos dados, estabelecemos para consulta uma serie de imagens de referências para cada classificação de variáveis (**Quadro MS 5**).

Quadro MS 4. Descrição das etapas da coleta de dados de atributos da rodovia.

Coleta de dados de atributos da rodovia	
Etapas	Descrição
	<p>Todas as unidades amostrais (segmentos de 100 m) foram demarcadas no Google Earth e após a identificação, alteramos o modo visualização para Street View. As marcações de linhas amarelas e as diferentes cores são para dividir os segmentos em quatro partes para facilitar a visualização no Google Street View e poder extrair as variáveis em quadrantes padronizados (25 m).</p>



Após a alteração do modo de visualização para Street View, é definido um sentido de início de classificação. Para os segmentos da RSC-287 é de Venâncio Aires - Paraíso do Sul e para ERS-239 de Taquara - Rolante.



A coleta das variáveis preditoras da rodovia é feita em cada divisão de 25 m do segmento. O uso da câmera é livre, permitindo aproximação para visualizar maiores detalhes, os limites de 25 m são determinados pelas linhas amarelas perpendiculares.



A coleta é feita de maneira independente em ambos os lados da rodovia e após extrair a informação de um lado de um quadrante, giramos para o lado oposto para também coletar as características do local. Esse procedimento é realizado para os 8 lados (25 m cada lado) de um segmento de 100 m.



A divisão de 25 m foi feita para extrair características mais detalhadas possíveis daquele local, porém, em algumas situações há diferenças no local que a variável está sendo coletada. Quando ocorre essa situação, a característica predominante é selecionada. Ex: presença de dois tipos de vegetação, a que tiver uma maior dominância nos 25 m é selecionada.



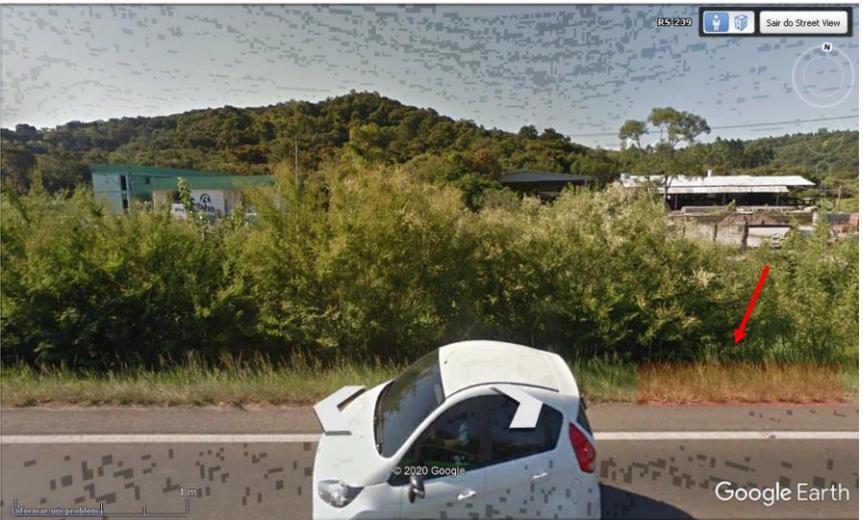
A característica coletada final para o segmento de 100 m é definida através da soma de valores de cada quadrante quando a variável é quantitativa ou a dominante para variáveis qualitativas. Para variáveis qualitativas de presença e ausência a classificação é feita diretamente para o segmento total. No exemplo ao lado, a variável da Vegetação da Faixa de Domínio recebeu valores de 0 a 5 para cada quadrante e o valor final do segmento é a somatória de todos os valores

Quadro MS 5. Imagens referências para cada classificação de variáveis da rodovia que foram estabelecidas para consulta durante a coleta de dados.

Variável	Imagens de referências	Classificação
<p>Vegetação da Faixa de Domínio</p>	 <p>The image shows a Google Street View of a road intersection. In the foreground, there is a paved road with white directional arrows. In the background, there is a building with a white fence, trees, and a blue sky with clouds. The image includes Google Earth interface elements like a compass, location coordinates (468 RS+230), and a 'Sair do Street View' button.</p>	<p>0 = Ausência de vegetação;</p> <p>Classificação é realizada em cada quadrante do segmento no modo Street View. A classificação final é o valor da somatória do segmento.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
		<p>1 = Qualquer vegetação inferior à altura de um carro.</p>
		<p>2 = Vegetação 1 predominante com presença de vegetações altas esparsas.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
		<p>3 = Vegetação semelhante à altura de um veículo.</p>
		<p>4 = Qualquer vegetação superior a um carro e inferior ao um caminhão.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
		<p>5 = Qualquer vegetação a cima de um caminhão.</p>
<p>Manejo de Margem</p>		<p>1 = Presença da faixa de vegetação manejada junto à rodovia.</p> <p>Classificação realizada em cada quadrante do segmento no modo Street View e o valor final é a proporção de presenças no segmento total.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
		<p>0 = Ausência da faixa de vegetação manejada junto à rodovia.</p>
<p>Canteiro central</p>		<p>1= Presença de estrutura vegetada ou não dividindo faixas de rodagem;</p> <p>Classificação única para o segmento inteiro no modo Street View.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
	 <p>A Street View image showing a two-lane asphalt road. Yellow lines mark the boundaries of the road, and blue lines mark the lane boundaries. A red circle highlights a specific area on the right shoulder. The image includes a 'Google Earth' logo and a '2.00' scale bar.</p>	<p>0 = Ausência de estrutura dividindo faixas de rodagem;</p> <p>Classificação única no segmento inteiro através do Street View.</p>
<p>Topografia</p>	 <p>A Street View image showing a two-lane asphalt road. Yellow lines mark the boundaries of the road, and blue lines mark the lane boundaries. A red circle highlights a specific area on the right shoulder. The image includes a 'Google Earth' logo, a '2.00' scale bar, and technical data at the bottom: 'Data: 2/20/2016 16:16:16 (E16714700.25 m S, elev. 63 m, altitude do ponto de visão: 65 m)'.</p>	<p>plano_plano = Rodovia e os terrenos adjacentes dos dois lados estão no mesmo nível;</p> <p>Classificação é feita em cada quadrante do segmento no modo Street View. A categoria predominante no segmento permanece na classificação final.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
		<p>plano_baixo = Um lado da rodovia possui o mesmo nível do terreno adjacente e no outro lado a pista está em um nível inferior.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
	 <p>The image shows a Google Earth Street View of a two-lane asphalt road. On the left side of the road, the ground is at the same level as the road surface. On the right side, the road surface is elevated above the surrounding green field. The sky is blue with some clouds. In the top right corner, there are icons for a person, a trash can, and a button that says 'Sair do Street View'. In the bottom right corner, it says 'Google Earth'. At the bottom, there is a small scale bar and some technical data: 'Data da Imagem: 2/2010', '22°15'33.15" S, 46°01'35.93" W, 50 m', and 'Altitude da câmera: 35 m'.</p>	<p>plano_alto = Um lado da rodovia possui o mesmo nível do terreno adjacente e no outro lado a pista está em um nível superior.</p>

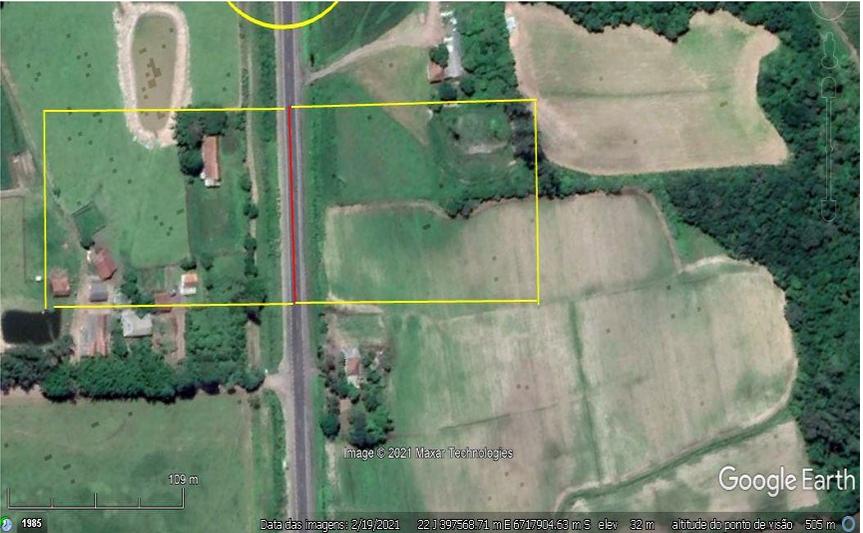
Variável	Imagens de referências	Classificação
	 <p>A Google Earth Street View image showing a two-lane asphalt road. On the left side, there is a grassy area with a small white signpost and a hill in the background. On the right side, there is a dense line of trees. The road has a yellow double line in the center and white lines on the edges. A white arrow points forward on the road. The Google Earth interface is visible at the bottom, showing a scale bar of 12m and the text '© 2020 Google'.</p>	<p>baixo_alto = Um lado da rodovia possui um nível inferior e do outro lado superior em relação ao terreno adjacente;</p>
	 <p>A Google Earth Street View image showing a two-lane asphalt road. Both sides of the road are lined with dense green trees. The road has a yellow double line in the center and white lines on the edges. A white arrow points forward on the road. A yellow double line is drawn across the road in the distance. The Google Earth interface is visible at the bottom, showing a scale bar of 4m and the text '© 2020 Google'.</p>	<p>baixo_baixo = Os dois lados da rodovia estão em níveis inferiores em relação aos terrenos adjacentes;</p>

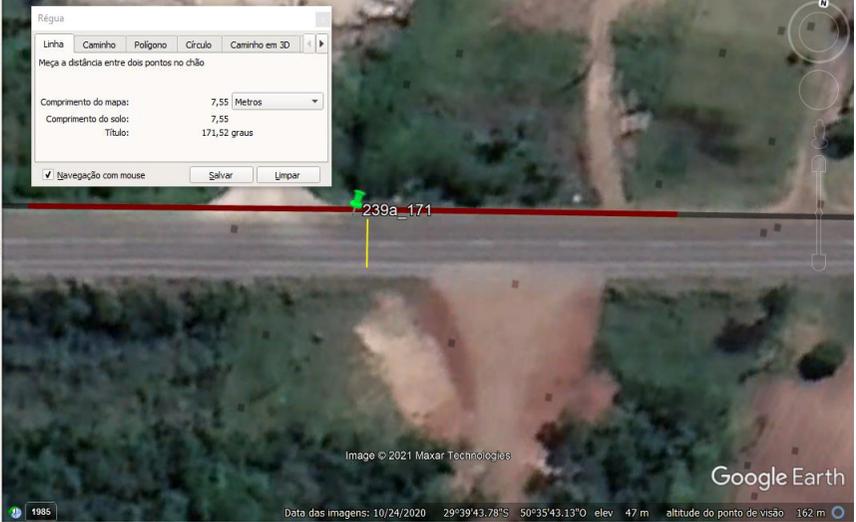
Variável	Imagens de referências	Classificação
		<p>alto_alto. = Os dois lados da rodovia estão em níveis superiores em relação aos terrenos adjacentes.</p>
<p>Cercas</p>		<p>1 = Presença de cercas que estão junto a área da rodovia ou na área de margem;</p> <p>Classificação em cada quadrante do segmento no modo Street View. O valor final é a proporção de presenças.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
		<p>0 = Ausência de cercas que estão junto a área da rodovia ou na área de margem.</p>
<p>Via Adjacente</p>		<p>1 = Presença de qualquer rodovia ou estrada cruzando com o segmento amostrado. Classificação única para o segmento.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
		<p>0 = Ausência de rodovia ou estrada cruzando com o segmento.</p>
<p>Acostamento</p>		<p>0 ou categoria ausente = rodovias em que não há áreas destinadas de paradas veiculares;</p> <p>Classificação realizada para cada quadrante do segmento no modo Street View. A classificação final é o somatório de valores no segmento ou a categoria predominante.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
	 <p>A Google Earth Street View image showing a road with a white shoulder line on the left and a double yellow line on the right. A yellow line is drawn across the road, starting from the white shoulder line and ending near the double yellow line, indicating a narrow lane area. The image includes a scale bar (0m), copyright information (© 2021 Google, US Dept of State Geographer), and Google Earth branding.</p>	<p>1 ou categoria de faixa estreita = para áreas de paradas após a faixa de rodagem de tamanhos inferiores a 2.5 m.</p>
	 <p>A Google Earth Street View image showing a road with a white shoulder line on the left and a double yellow line on the right. A yellow line is drawn across the road, starting from the white shoulder line and extending further into the road than in the first image, indicating a wide lane area. A white truck is visible in the distance. The image includes a scale bar (0m), copyright information (© 2020 Google), and Google Earth branding.</p>	<p>2 ou categoria de faixa larga = para áreas de parada após a faixa de rolagem de tamanhos superiores a 2.5 m.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
<p align="center">Edificações</p>		<p>Quantidade de edificações dentro de um buffer de 150 m paralelos ao segmento;</p> <p>Classificação via imagem de satélite atualizada do Google Earth;</p>
<p align="center">Ponte</p>		<p>1 = Presença de estrutura que liga margens da rodovia sob corpo d'água;</p> <p>Classificação única no segmento inteiro.</p>

Variável	Imagens de referências	Classificação
		<p>0 = Ausência de estrutura que liga margens da rodovia sob corpo d'água;</p>
<p>Tamanho da Pista</p>		<p>Tamanho central do segmento da faixa de rodagem em metros, obtidos via imagens de satélite do Google Earth</p>

Material Suplementar IV (MS4) – Seleção de escalas das variáveis preditoras para cada conjunto de dados

As variáveis de paisagem foram analisadas em diferentes tamanhos de buffers (100 m, 150 m, 200 m, 250 m, 300 m, 350 m, 400 m, 450 m, 500 m, 600 m, 700 m, 800 m, 900 m, 1000 m) para cada conjunto de dados (**Quadro MS 6, Quadro MS 7 e Quadro MS 8**), exceto a classe Campo Alagado em que havia apenas dados para os tamanhos 900 m e 1000 m. Já para as variáveis das características da rodovia apenas a Edificações tinha a possibilidade de extração em diferentes tamanhos de buffers. Foram escolhidos os tamanhos 80 m, 100 m e 150 m para avaliação de efeito de escala utilizando apenas o conjunto de dados de aves geral e apenas o trecho da rodovia ERS-239 (**Quadro MS 9**), pois a extração das variáveis de rodovia foi manual e a decisão sobre o tamanho da escala precisava ser definida no início da coleta de dados, antes de ser aplicada para todos os segmentos.

Para todas as seleções foram considerados os menores valores de AIC e/ou o Delta AIC menor que 2. As variáveis que apresentaram o modelo nulo como melhor do que as escalas testadas foram excluídas do conjunto de dados analisados, exceto a variável de edificações que mesmo com o modelo nulo tendo o menor valor de AIC, ela foi considerada já que havia um modelo com escala dentro dos modelos plausíveis ($\Delta AIC < 2$).

Quadro MS 6. Seleção das escalas das classes de paisagem para o conjunto de aves geral. A grafia itálica são classes que foram excluídas; Valores em vermelhos são correspondentes aos melhores valores de classificação.

Aves geral						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	100	2	2296.93	0	0.98	0.98
	150	2	2306.66	9.73	0.01	0.99
Formação Florestal	200	2	2309.37	12.44	0	0.99
	250	2	2309.94	13.01	0	1
	300	2	2311.57	14.64	0	1

Aves geral						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	350	2	2311.87	14.94	0	1
	400	2	2312	15.08	0	1
	50	2	2312.53	15.6	0	1
	500	2	2312.58	15.65	0	1
	450	2	2312.65	15.72	0	1
	600	2	2313.19	16.26	0	1
	nulo	1	2313.59	16.67	0	1
	700	2	2313.79	16.86	0	1
	800	2	2313.96	17.04	0	1
	1000	2	2313.98	17.06	0	1
	900	2	2313.99	17.06	0	1
	1000	2	2286.46	0	0.77	0.77
	900	2	2290.26	3.8	0.11	0.88
	800	2	2290.42	3.96	0.11	0.99
	700	2	2295.38	8.92	0.01	1
	600	2	2298.28	11.82	0	1
	500	2	2306.66	20.2	0	1
	450	2	2308.52	22.07	0	1
	400	2	2310.67	24.21	0	1
	350	2	2312.58	26.12	0	1
	nulo	1	2313.59	27.13	0	1
	300	2	2314.07	27.61	0	1
	50	2	2314.37	27.91	0	1
	250	2	2314.76	28.31	0	1
	100	2	2315.07	28.61	0	1
	200	2	2315.08	28.63	0	1
	150	2	2315.57	29.11	0	1
	nulo	1	2313.59	0	0.58	0.58
<i>Campo Alagado</i>	1000	2	2315.6	2.01	0.21	0.79
	900	2	2315.6	2.01	0.21	1
	50	2	2310.17	0	0.36	0.36
	100	2	2311.16	0.99	0.22	0.59
	nulo	1	2313.59	3.42	0.07	0.65
	150	2	2314.51	4.33	0.04	0.69
	450	2	2315.26	5.08	0.03	0.72
	200	2	2315.37	5.2	0.03	0.75
	350	2	2315.47	5.3	0.03	0.78
	500	2	2315.48	5.31	0.03	0.8
	250	2	2315.51	5.34	0.03	0.83
	700	2	2315.52	5.35	0.03	0.85
	300	2	2315.52	5.35	0.03	0.88

Aves geral						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	900	2	2315.52	5.35	0.03	0.9
	1000	2	2315.54	5.36	0.02	0.93
	600	2	2315.55	5.38	0.02	0.95
	800	2	2315.56	5.39	0.02	0.98
	400	2	2315.59	5.42	0.02	1
	1000	2	2307.94	0	0.39	0.39
Pastagem	900	2	2309.74	1.8	0.16	0.54
	800	2	2310.36	2.42	0.12	0.66
	600	2	2311.02	3.08	0.08	0.74
	700	2	2311.28	3.34	0.07	0.82
	500	2	2312.33	4.39	0.04	0.86
	400	2	2313.55	5.61	0.02	0.88
	nulo	1	2313.59	5.65	0.02	0.9
	450	2	2313.75	5.81	0.02	0.93
	350	2	2314.39	6.45	0.02	0.94
	50	2	2314.95	7.01	0.01	0.95
	300	2	2315.15	7.21	0.01	0.96
	200	2	2315.34	7.4	0.01	0.97
	100	2	2315.36	7.41	0.01	0.98
	250	2	2315.51	7.57	0.01	0.99
	150	2	2315.6	7.65	0.01	1
	1000	2	2307.92	0	0.2	0.2
Mosaico de Agricultura e Pastagem	900	2	2308.53	0.61	0.15	0.36
	400	2	2309.43	1.51	0.1	0.45
	800	2	2309.56	1.63	0.09	0.54
	350	2	2309.99	2.07	0.07	0.62
	300	2	2310.18	2.26	0.07	0.68
	450	2	2310.43	2.51	0.06	0.74
	700	2	2310.6	2.68	0.05	0.79
	250	2	2310.79	2.87	0.05	0.84
	500	2	2311.16	3.23	0.04	0.88
	600	2	2311.84	3.91	0.03	0.91
	150	2	2312.07	4.15	0.03	0.94
	100	2	2312.28	4.36	0.02	0.96
	200	2	2313.02	5.1	0.02	0.98
	nulo	1	2313.59	5.67	0.01	0.99
	50	2	2313.94	6.02	0.01	1
	100	2	2310.33	0	0.19	0.19
Infraestrutura Urbana	350	2	2310.9	0.57	0.15	0.34
	400	2	2310.97	0.64	0.14	0.48
	300	2	2312.13	1.79	0.08	0.56

Aves geral						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	450	2	2312.22	1.88	0.08	0.63
	150	2	2312.31	1.97	0.07	0.7
	250	2	2313.1	2.77	0.05	0.75
	200	2	2313.42	3.09	0.04	0.79
	nulo	1	2313.59	3.26	0.04	0.83
	500	2	2313.69	3.36	0.04	0.87
	600	2	2313.73	3.39	0.04	0.9
	50	2	2314.24	3.91	0.03	0.93
	700	2	2314.69	4.36	0.02	0.95
	800	2	2315.17	4.83	0.02	0.97
	900	2	2315.27	4.94	0.02	0.98
	1000	2	2315.44	5.1	0.02	1
	400	2	2308.65	0	0.21	0.21
	500	2	2308.96	0.31	0.18	0.38
	350	2	2309.13	0.48	0.16	0.54
	300	2	2310.14	1.49	0.1	0.64
	450	2	2310.55	1.9	0.08	0.72
	600	2	2311	2.35	0.06	0.78
	200	2	2311.16	2.51	0.06	0.84
	250	2	2312.13	3.48	0.04	0.88
Outras Áreas não Vegetadas	150	2	2312.19	3.54	0.03	0.91
	100	2	2313.07	4.42	0.02	0.94
	700	2	2313.43	4.79	0.02	0.95
	nulo	1	2313.59	4.94	0.02	0.97
	800	2	2315.09	6.45	0.01	0.98
	50	2	2315.51	6.87	0.01	0.99
	1000	2	2315.57	6.92	0.01	0.99
	900	2	2315.58	6.94	0.01	1
	450	2	2312.39	0	0.14	0.14
	50	2	2312.79	0.4	0.12	0.26
	500	2	2313.38	0.99	0.09	0.35
	nulo	1	2313.59	1.21	0.08	0.43
	100	2	2313.63	1.24	0.08	0.5
	300	2	2313.91	1.53	0.07	0.57
Corpos D'Água	250	2	2314.03	1.64	0.06	0.63
	350	2	2314.1	1.72	0.06	0.69
	400	2	2314.24	1.85	0.06	0.75
	200	2	2314.63	2.25	0.05	0.8
	600	2	2314.68	2.29	0.05	0.84
	150	2	2315.1	2.71	0.04	0.88
	700	2	2315.24	2.85	0.03	0.91

Aves geral						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	900	2	2315.57	3.18	0.03	0.94
	800	2	2315.59	3.2	0.03	0.97
	1000	2	2315.6	3.21	0.03	1
	nulo	1	2313.59	0	1	1
<i>Soja</i>	50	17	2327.24	13.65	0	1
	100	53	2362.26	48.67	0	1
	150	102	2433.87	120.28	0	1
	200	140	2498.05	184.45	0	1
	250	195	2591.07	277.48	0	1
	300	224	2641.29	327.7	0	1
	350	280	2783.28	469.69	0	1
	400	293	2813.64	500.05	0	1
	450	308	2863.16	549.57	0	1
	500	352	3025.24	711.65	0	1
	600	402	3225.87	912.27	0	1
	700	439	3410.17	1096.58	0	1
	800	462	3550.3	1236.71	0	1
	900	490	3736.77	1423.18	0	1
1000	518	3946.28	1632.68	0	1	
	250	2	2309.45	0	0.21	0.21
Outras Lavouras Temporárias	300	2	2310.36	0.91	0.13	0.34
	350	2	2310.93	1.48	0.1	0.44
	200	2	2311.2	1.75	0.09	0.52
	450	2	2311.54	2.09	0.07	0.59
	50	2	2311.73	2.28	0.07	0.66
	150	2	2311.84	2.39	0.06	0.72
	400	2	2312.12	2.67	0.05	0.78
	500	2	2312.51	3.06	0.04	0.82
	1000	2	2312.89	3.44	0.04	0.86
	900	2	2313.31	3.86	0.03	0.89
	nulo	1	2313.59	4.14	0.03	0.92
	800	2	2313.8	4.35	0.02	0.94
	600	2	2313.81	4.36	0.02	0.96
	700	2	2314.17	4.72	0.02	0.98
100	2	2314.31	4.86	0.02	1	

Quadro MS 7. Seleção das escalas das classes de paisagem para o conjunto de aves não frequentes. Em itálico são as classes que foram excluídas; Valores em vermelhos são correspondentes aos melhores valores de classificação.

Aves não frequentes						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
<i>Formação Florestal</i>	500	2	1248.34	0	0.1	0.1
	400	2	1248.43	0.09	0.09	0.19
	450	2	1248.72	0.38	0.08	0.27
	600	2	1248.76	0.42	0.08	0.35
	1000	2	1248.92	0.58	0.07	0.43
	350	2	1248.99	0.65	0.07	0.5
	900	2	1249.21	0.87	0.06	0.56
	100	2	1249.26	0.92	0.06	0.62
	700	2	1249.31	0.97	0.06	0.68
	nulo	1	1249.32	0.99	0.06	0.74
	800	2	1249.43	1.09	0.06	0.8
	250	2	1249.66	1.32	0.05	0.85
	300	2	1249.83	1.49	0.05	0.9
	200	2	1250.01	1.67	0.04	0.94
	50	2	1250.68	2.34	0.03	0.97
	150	2	1250.7	2.36	0.03	1
Floresta Plantada	700	2	1243.99	0	0.3	0.3
	600	2	1244.8	0.81	0.2	0.5
	800	2	1245.23	1.24	0.16	0.66
	900	2	1246.32	2.33	0.09	0.76
	500	2	1247.5	3.51	0.05	0.81
	1000	2	1247.75	3.76	0.05	0.86
	450	2	1248.54	4.55	0.03	0.89
	400	2	1249.03	5.04	0.02	0.91
	nulo	1	1249.32	5.34	0.02	0.93
	50	2	1249.92	5.93	0.02	0.95
	350	2	1250.53	6.54	0.01	0.96
	300	2	1251.1	7.12	0.01	0.97
	150	2	1251.26	7.27	0.01	0.98
	250	2	1251.27	7.29	0.01	0.98
	200	2	1251.31	7.32	0.01	0.99
	100	2	1251.31	7.33	0.01	1
<i>Campo Alagado</i>	nulo	1	1249.32	0	0.58	0.58
	1000	2	1251.33	2.01	0.21	0.79
	900	2	1251.33	2.01	0.21	1
<i>Formação Campestre</i>	nulo	1	1249.32	0	0.13	0.13

Aves não frequentes						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	800	2	1249.9	0.58	0.1	0.22
	900	2	1249.92	0.6	0.09	0.32
	700	2	1250.47	1.15	0.07	0.39
	50	2	1250.57	1.25	0.07	0.46
	1000	2	1250.91	1.58	0.06	0.52
	150	2	1251.11	1.78	0.05	0.57
	100	2	1251.12	1.79	0.05	0.62
	200	2	1251.18	1.86	0.05	0.67
	350	2	1251.3	1.97	0.05	0.72
	300	2	1251.31	1.98	0.05	0.77
	600	2	1251.31	1.99	0.05	0.81
	500	2	1251.32	1.99	0.05	0.86
	450	2	1251.32	2	0.05	0.91
	400	2	1251.32	2	0.05	0.95
	250	2	1251.33	2.01	0.05	1
	nulo	1	1249.32	0	0.11	0.11
	350	2	1249.43	0.1	0.11	0.22
	1000	2	1250.13	0.81	0.07	0.29
	400	2	1250.14	0.82	0.07	0.36
	800	2	1250.29	0.96	0.07	0.43
	900	2	1250.42	1.09	0.06	0.5
	700	2	1250.43	1.11	0.06	0.56
	600	2	1250.53	1.21	0.06	0.62
	500	2	1250.63	1.31	0.06	0.68
	450	2	1250.65	1.33	0.06	0.73
	300	2	1251.01	1.68	0.05	0.78
	250	2	1251.03	1.7	0.05	0.83
	100	2	1251.13	1.8	0.04	0.87
	50	2	1251.2	1.88	0.04	0.92
	200	2	1251.26	1.93	0.04	0.96
	150	2	1251.33	2.01	0.04	1
	1000	2	1245.04	0	0.4	0.4
	900	2	1247.22	2.18	0.13	0.53
	800	2	1248.25	3.21	0.08	0.61
	350	2	1249.32	4.28	0.05	0.66
Mosaico de Agricultura e Pastagem	nulo	1	1249.32	4.28	0.05	0.71
	400	2	1249.39	4.35	0.05	0.75
	700	2	1249.91	4.87	0.03	0.79
	300	2	1249.92	4.88	0.03	0.82
	450	2	1249.95	4.91	0.03	0.86

Aves não frequentes						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	600	2	1250.44	5.4	0.03	0.88
	500	2	1250.55	5.51	0.03	0.91
	250	2	1250.98	5.93	0.02	0.93
	100	2	1251.12	6.08	0.02	0.95
	150	2	1251.26	6.22	0.02	0.97
	200	2	1251.28	6.24	0.02	0.98
	50	2	1251.33	6.29	0.02	1
	100	2	1246.42	0	0.25	0.25
	200	2	1248.55	2.13	0.09	0.34
	300	2	1248.63	2.21	0.08	0.42
	350	2	1248.73	2.31	0.08	0.5
	150	2	1248.74	2.31	0.08	0.58
	250	2	1248.9	2.48	0.07	0.65
	400	2	1248.94	2.52	0.07	0.72
Infraestrutura Urbana	nulo	1	1249.32	2.9	0.06	0.78
	50	2	1250.09	3.66	0.04	0.82
	450	2	1250.25	3.83	0.04	0.86
	500	2	1250.87	4.44	0.03	0.89
	600	2	1251.1	4.68	0.02	0.91
	900	2	1251.3	4.87	0.02	0.93
	1000	2	1251.32	4.9	0.02	0.96
	800	2	1251.32	4.9	0.02	0.98
	700	2	1251.33	4.91	0.02	1
	400	2	1248.16	0	0.14	0.14
	500	2	1248.83	0.67	0.1	0.24
	450	2	1248.85	0.69	0.1	0.34
	nulo	1	1249.32	1.17	0.08	0.41
	600	2	1249.6	1.45	0.07	0.48
	1000	2	1249.62	1.46	0.07	0.55
	900	2	1249.75	1.59	0.06	0.61
	800	2	1249.83	1.67	0.06	0.67
Outras Áreas não Vegetadas	700	2	1249.85	1.69	0.06	0.73
	150	2	1249.93	1.77	0.06	0.79
	350	2	1249.97	1.81	0.06	0.84
	100	2	1251.07	2.92	0.03	0.88
	300	2	1251.12	2.96	0.03	0.91
	250	2	1251.14	2.98	0.03	0.94
	200	2	1251.2	3.04	0.03	0.97
	50	2	1251.26	3.11	0.03	1
<i>Corpos D'Água</i>	500	2	1248.08	0	0.14	0.14

Aves não frequentes						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	600	2	1248.25	0.17	0.13	0.27
	50	2	1248.59	0.5	0.11	0.37
	450	2	1248.74	0.66	0.1	0.47
	700	2	1249.11	1.03	0.08	0.56
	nulo	1	1249.32	1.24	0.07	0.63
	100	2	1249.63	1.54	0.06	0.69
	1000	2	1250.01	1.93	0.05	0.75
	900	2	1250.47	2.38	0.04	0.79
	800	2	1250.57	2.48	0.04	0.83
	400	2	1250.9	2.81	0.03	0.86
	150	2	1251.28	3.19	0.03	0.89
	350	2	1251.31	3.23	0.03	0.92
	200	2	1251.31	3.23	0.03	0.95
	250	2	1251.32	3.23	0.03	0.97
	300	2	1251.33	3.24	0.03	1
	1000	2	2312.09	0	0.15	0.15
	200	2	2312.87	0.78	0.1	0.24
	900	2	2313.03	0.94	0.09	0.34
	600	2	2313.27	1.18	0.08	0.42
	800	2	2313.36	1.27	0.08	0.49
	nulo	1	2313.59	1.5	0.07	0.56
	500	2	2313.64	1.55	0.07	0.63
	700	2	2313.85	1.76	0.06	0.69
	150	2	2314.17	2.08	0.05	0.74
	450	2	2314.26	2.17	0.05	0.79
	400	2	2314.51	2.42	0.04	0.84
	250	2	2314.63	2.54	0.04	0.88
	100	2	2315	2.9	0.03	0.91
	50	2	2315.01	2.92	0.03	0.95
	350	2	2315.29	3.2	0.03	0.97
	300	2	2315.6	3.51	0.03	1
	150	2	1246.64	0	0.21	0.21
	300	2	1248.66	2.03	0.08	0.29
	250	2	1248.7	2.06	0.08	0.37
	450	2	1248.86	2.22	0.07	0.44
Outras Lavouras Temporárias	200	2	1248.96	2.33	0.07	0.5
	500	2	1249	2.36	0.07	0.57
	400	2	1249.13	2.5	0.06	0.63
	nulo	1	1249.32	2.69	0.06	0.68
	350	2	1249.48	2.85	0.05	0.73

Aves não frequentes						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	100	2	1249.75	3.11	0.04	0.78
	600	2	1249.82	3.18	0.04	0.82
	900	2	1249.95	3.32	0.04	0.86
	800	2	1249.96	3.33	0.04	0.9
	1000	2	1249.97	3.34	0.04	0.94
	700	2	1250.13	3.49	0.04	0.98
	50	2	1251.32	4.69	0.02	1

Quadro MS 8. Seleção das escalas das classes de paisagem para o conjunto de aves frequentes na rodovia. Em itálico são as classes que foram excluídas; Valores em vermelhos são correspondentes aos melhores valores de classificação.

Aves frequentes						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	100	2	1370.23	0	0.95	0.95
	150	2	1378.08	7.85	0.02	0.97
	200	2	1379.66	9.44	0.01	0.98
	250	2	1380.07	9.85	0.01	0.98
	300	2	1382.03	11.81	0	0.99
	50	2	1382.64	12.42	0	0.99
	nulo	1	1382.76	12.53	0	0.99
Formação Florestal	350	2	1382.96	12.73	0	0.99
	400	2	1383.1	12.88	0	0.99
	450	2	1383.47	13.24	0	1
	500	2	1384.04	13.81	0	1
	600	2	1384.41	14.18	0	1
	700	2	1384.64	14.42	0	1
	800	2	1384.75	14.52	0	1
	900	2	1384.76	14.53	0	1
	1000	2	1384.76	14.54	0	1
	Floresta Plantada	1000	2	1371.67	0	0.78
900		2	1375.85	4.17	0.1	0.87
800		2	1376.18	4.51	0.08	0.95
700		2	1378.98	7.31	0.02	0.97
600		2	1380.39	8.71	0.01	0.98

Aves frequentes						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	nulo	1	1382.76	11.08	0	0.99
	500	2	1383.1	11.42	0	0.99
	450	2	1383.99	12.31	0	0.99
	400	2	1384.25	12.58	0	0.99
	350	2	1384.46	12.78	0	0.99
	100	2	1384.53	12.86	0	0.99
	300	2	1384.58	12.91	0	1
	50	2	1384.62	12.94	0	1
	150	2	1384.68	13.01	0	1
	200	2	1384.71	13.04	0	1
	250	2	1384.74	13.07	0	1
	nulo	1	1382.76	0	0.58	0.58
<i>Campo Alagado</i>	1000	2	1384.76	2.01	0.21	0.79
	900	2	1384.76	2.01	0.21	1
	100	2	1381.97	0	0.16	0.16
	nulo	1	1382.76	0.78	0.11	0.27
	500	2	1383.77	1.79	0.07	0.34
	1000	2	1383.82	1.85	0.06	0.4
	150	2	1383.88	1.9	0.06	0.46
	400	2	1384.07	2.1	0.06	0.52
	350	2	1384.08	2.11	0.06	0.58
	450	2	1384.11	2.14	0.06	0.63
<i>Formação Campestre</i>	600	2	1384.12	2.15	0.06	0.69
	300	2	1384.26	2.28	0.05	0.74
	900	2	1384.49	2.52	0.05	0.79
	200	2	1384.53	2.56	0.05	0.83
	50	2	1384.56	2.59	0.04	0.88
	700	2	1384.65	2.68	0.04	0.92
	800	2	1384.68	2.71	0.04	0.96
	250	2	1384.76	2.79	0.04	1
	1000	2	1376.3	0	0.5	0.5
	900	2	1378.37	2.07	0.18	0.68
	800	2	1379.9	3.6	0.08	0.76
	600	2	1380.85	4.55	0.05	0.81
	700	2	1380.89	4.59	0.05	0.86
	500	2	1381.52	5.22	0.04	0.9
<i>Pastagem</i>	nulo	1	1382.76	6.46	0.02	0.92
	400	2	1383.79	7.49	0.01	0.93
	450	2	1383.82	7.52	0.01	0.94
	100	2	1384.02	7.73	0.01	0.96

Aves frequentes						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	350	2	1384.61	8.31	0.01	0.96
	150	2	1384.73	8.43	0.01	0.97
	250	2	1384.74	8.44	0.01	0.98
	50	2	1384.76	8.46	0.01	0.99
	200	2	1384.76	8.46	0.01	0.99
	300	2	1384.76	8.47	0.01	1
	250	2	1380.47	0	0.14	0.14
	400	2	1380.95	0.48	0.11	0.24
	350	2	1381.33	0.86	0.09	0.33
	300	2	1381.42	0.95	0.08	0.42
	600	2	1381.45	0.98	0.08	0.5
	450	2	1381.61	1.14	0.08	0.58
	700	2	1381.97	1.5	0.06	0.64
Mosaico de Agricultura e Pastagem	200	2	1381.99	1.51	0.06	0.71
	500	2	1382.29	1.82	0.06	0.76
	150	2	1382.59	2.12	0.05	0.81
	nulo	1	1382.76	2.29	0.04	0.86
	900	2	1382.96	2.48	0.04	0.89
	800	2	1383.24	2.77	0.03	0.93
	1000	2	1383.59	3.12	0.03	0.96
	100	2	1384.2	3.73	0.02	0.98
	50	2	1384.22	3.75	0.02	1
	800	2	1381.85	0	0.1	0.1
	1000	2	1382	0.16	0.09	0.19
	50	2	1382.07	0.22	0.09	0.27
	900	2	1382.09	0.25	0.09	0.36
	600	2	1382.12	0.27	0.08	0.45
	500	2	1382.32	0.47	0.08	0.52
	700	2	1382.32	0.48	0.08	0.6
Infraestrutura Urbana	450	2	1382.53	0.68	0.07	0.67
	100	2	1382.71	0.86	0.06	0.73
	nulo	1	1382.76	0.91	0.06	0.79
	400	2	1383.34	1.49	0.05	0.84
	350	2	1383.5	1.65	0.04	0.88
	250	2	1384.14	2.29	0.03	0.91
	200	2	1384.2	2.35	0.03	0.94
	300	2	1384.28	2.44	0.03	0.97
	150	2	1384.3	2.45	0.03	1
Outras Áreas não Vegetadas	nulo	1	1382.76	0	0.11	0.11
	300	2	1383.42	0.66	0.08	0.19

Aves frequentes						
Classe	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	300	2	1383.31	5.37	0.02	0.94
	150	2	1384.17	6.22	0.01	0.96
	100	2	1384.47	6.53	0.01	0.97
	250	2	1384.74	6.8	0.01	0.98
	200	2	1384.75	6.8	0.01	0.99
	50	2	1384.75	6.81	0.01	1
	50	2	1379.24	0	0.43	0.43
	nulo	1	1382.76	3.52	0.07	0.5
	600	2	1383.42	4.18	0.05	0.56
	700	2	1383.5	4.26	0.05	0.61
	150	2	1383.88	4.64	0.04	0.65
	500	2	1384.09	4.85	0.04	0.69
	800	2	1384.12	4.88	0.04	0.73
Outras Lavouras Temporárias	450	2	1384.35	5.12	0.03	0.76
	250	2	1384.4	5.16	0.03	0.79
	400	2	1384.41	5.17	0.03	0.82
	100	2	1384.49	5.25	0.03	0.86
	200	2	1384.55	5.31	0.03	0.89
	900	2	1384.56	5.32	0.03	0.92
	1000	2	1384.66	5.42	0.03	0.94
	350	2	1384.7	5.47	0.03	0.97
	300	2	1384.76	5.52	0.03	1

Quadro MS 9. Definição da escala da variável Edificações. Valores em vermelhos são correspondentes aos melhores valores de classificação.

Definição de escala dos atributos da rodovia						
Variável	Buffer	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
	nulo	1	155.9	0	0.3	0.3
	150	2	156.35	0.44	0.24	0.54
Edificações	100	2	156.37	0.47	0.24	0.77
	80	2	156.46	0.56	0.23	1

Material Suplementar V (MS5) - Análise de dados intermediária – Modelos Lineares Generalizados

Exclusão de algumas variáveis com mesmo significado

Acostamento:

Antes da elaboração dos modelos para cada grupo, foi testado qual das variáveis coletadas em relação ao acostamento seria utilizada: a soma do acostamento (variável contínua) ou o tipo de acostamento (variável categórica). Para isso, ajustamos Modelos Lineares Generalizados com distribuição Poisson e fizemos a seleção das variáveis por meio do critério de informação de Akaike (AIC), considerando como modelos plausíveis apenas os modelos com delta AICc menor que 2. No **Quadro MS 10** são apresentados a competição de modelos lineares generalizados apenas com essas variáveis para a decisão.

Quadro MS 10. Resultado da competição de modelos entre as variáveis relacionadas ao acostamento. Modelos em vermelho foram os escolhidos.

Resposta	Modelos	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
Aves geral	Tipo de acostamento	3	2299.71	0	0.76	0.76
	Soma do acostamento	2	2301.98	2.27	0.24	1
	Nulo	1	2313.59	13.88	0	1
Aves não frequentes na via	Tipo de acostamento	3	1248.39	0	0.48	0.48
	Nulo	1	1249.32	0.93	0.3	0.77
	Soma do acostamento	2	1249.88	1.49	0.23	1
Aves frequentes na via	Soma do acostamento	2	1367.6	0	0.9	0.9
	Tipo de acostamento	3	1372.12	4.52	0.09	1
	Nulo	1	1382.76	15.16	0	1

Para as aves geral, foi escolhida a variável tipo de acostamento. E para as aves frequentes na via foi escolhido a soma do acostamento como a variável relacionado ao acostamento. Para o grupo de aves não frequentes na via, a variável de acostamento não foi incluída nos modelos finais porque o modelo nulo também foi um modelo igualmente plausível.

Edificações e Infraestrutura Urbana

As variáveis Edificações e Infraestrutura Urbana, mesmo que não correlacionadas, expressam o mesmo significado que é o quanto de área urbanizada há próximo a cada unidade amostral. Assim o mesmo procedimento feito para o acostamento, foi feito para essas duas variáveis para cada um dos grupos de aves avaliados. Na **Quadro MS 11** são apresentados a competição de modelos lineares generalizados apenas com essas variáveis para a decisão.

Quadro MS 11. Resultado da competição de modelos entre as variáveis relacionadas à urbanização. Modelos em vermelho foram os modelos escolhidos.

Resposta	Modelo	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado
Aves geral	Porcentagem de infraestrutura urbana	2	2310.33	0	0.78	0.78
	Nulo	1	2313.59	3.26	0.15	0.93
	Número de edificações	2	2315.18	4.85	0.07	1
Aves não frequentes na via	Porcentagem de infraestrutura urbana	2	1246.42	0	0.74	0.74
	Nulo	1	1249.32	2.9	0.17	0.91
	Número de edificações	2	1250.62	4.19	0.09	1

Tanto para o conjunto de aves geral quanto para as aves não frequentes na via, a porcentagem de área urbana foi a variável selecionada para entrar no modelo final. Para o grupo das aves frequentes na via, essa avaliação não foi feita já que nenhuma escala de porcentagem de área urbana havia sido selecionada na avaliação da escala de efeito.

Competindo modelos com diferentes conjuntos de variáveis

Ajustamos Modelos Lineares Generalizados com distribuição Poisson para três diferentes conjuntos de variáveis: 1- modelo com todas as variáveis, 2 – modelo com as variáveis da rodovia e entorno imediato 3 – modelo com as variáveis da paisagem local. No **Quadro MS**

12 são apresentados os resultados da competição de modelos para cada conjunto de variáveis e cada um dos grupos de variáveis respostas.

Quadro MS 12. Resultado da competição de modelos entre os três conjuntos de variáveis utilizadas. Modelos em vermelho foram os modelos escolhidos.

	Modelos	K	AICc	Delta AICc	Peso AICc	Peso Acumulado	Deviance
Aves geral	Rodovia + Paisagem	23	2248.22	0	0.76	0.76	0.101
	Paisagem	9	2250.51	2.29	0.24	1	0.072
	Rodovia	16	2304.36	56.14	0	1	0.036
	Nulo	1	2313.59	65.37	0	1	<0
Aves não frequentes na via	Paisagem	5	1233.1	0	0.96	0.96	0.030
	Rodovia + Paisagem	17	1239.67	6.57	0.04	1	0.053
	Nulo	1	1249.32	16.22	0	1	0
	Rodovia	14	1261.73	28.63	0	1	0.017
Aves frequentes na via	Rodovia + Paisagem	21	1333.38	0	1	1	0.105
	Rodovia	15	1359.31	25.93	0	1	0.060
	Nulo	1	1382.76	49.37	0	1	0
	Paisagem	8	1652.71	319.32	0	1	0.047

Considerando que o poder de explicação (deviance) dos modelos foi bastante baixo, optou-se por utilizar modelos ponderados que considerassem o conjunto total de variáveis para todos os grupos. Detalhes desses modelos estão no Material Suplementar VI e os métodos e resultados principais no corpo do manuscrito.

Material Suplementar VI (MS6) – Resultados dos modelos candidatos utilizados nos modelos ponderados

Para cada um dos grupos avaliados foram utilizadas a combinação de variáveis para os modelos igualmente plausíveis (delta AIC < 2). Abaixo estão listados nos **Quadro MS 13**, **Quadro**

MS 14 e **Quadro MS 15** os resultados para cada um dos conjuntos de dados e as variáveis que foram incluídas.

Quadro MS 13. Modelos ponderados e variáveis analisadas para o conjunto de dados de aves geral. Em fonte cinza estão representadas as variáveis das características da rodovia e em azul variáveis da paisagem adjacente.

Modelos considerados na poderação	Canteiro Central	Formação Campestre (50 m)	Formação Florestal (100 m)	Floresta Plantada (1000 m)	Outras Lavouras Temporárias (250 m)	Pastagem (1000 m)	Mosaico de Agricultura e Pastagem (1000)	Outras Áreas não Vegetadas (400 m)	Infraestrutura Urbana (100 m)	Ponte	Cercas	Manejo de Margem	Vegetação da Faixa de Domínio	Acostamento	Via Adjacente	Graus de liberdade	Verossimilhança	AIC	Delta AIC	Peso do AIC
Modelo 1			X	X		X		X	X	X	X			X		10	-1106.3	2232.84	0	0.13
Modelo 2		X	X	X		X		X	X	X	X			X		11	-1105.5	2233.36	0.52	0.1
Modelo 3			X	X	X	X		X	X	X	X			X		11	-1105.6	2233.48	0.64	0.09
Modelo 4			X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		12	-1104.7	2233.7	0.86	0.08

Modelo 5		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		13	-1103.7	2233.83	0.99	0.08
Modelo 6			X	X		X		X	X	X	X			X	X	11	-1105.9	2234.02	1.17	0.07
Modelo 7		X	X	X	X	X		X	X	X	X			X		12	-1104.9	2234.03	1.19	0.07
Modelo 8			X	X		X	X	X	X	X	X			X		11	-1106.1	2234.39	1.55	0.06
Modelo 9			X	X		X		X	X	X	X		X	X		11	-1106.1	2234.45	1.61	0.06
Modelo 10	X		X	X		X		X	X	X	X			X		11	-1106.1	2234.49	1.65	0.06
Modelo 11		X	X	X		X		X	X	X	X			X	X	12	-1105.1	2234.55	1.7	0.05
Modelo 12		X	X	X		X	X	X	X	X	X			X		12	-1105.2	2234.7	1.86	0.05
Modelo 13			X	X	X	X		X	X	X	X		X	X		12	-1105.2	2234.78	1.94	0.05
Modelo 14			X	X		X		X	X	X	X	X		X		11	-1106.3	2234.78	1.94	0.05

Quadro MS 14. Modelos ponderados e variáveis analisadas para o conjunto de dados de aves não frequentes. Em fonte azul estão representadas as variáveis da paisagem adjacente.

Modelos considerados na poderação	Floresta Plantada (700 m)	Outras Lavouras Temporárias (150 m)	Mosaico de Agricultura e Pastagem (1000 m)	Infraestrutura Urbana (100 m)	Graus de liberdade	Verossimilhança	AIC	Delta AIC	Peso do AIC
Modelo 1	X	X	X	X	5	-611.52	1233.1	0	0.59
Modelo 2		X	X	X	4	-612.9	1233.84	0.74	0.41

Quadro MS 15. Modelos ponderados e variáveis analisadas para o conjunto de dados de aves frequentes. Em fonte cinza estão representadas as variáveis das características da rodovia e em azul variáveis da paisagem adjacente.

Modelos considerados na poderação	Canteiro Central	Corpos D'Água (300 m)	Formação Florestal (100 m)	Floresta Plantada (1000 m)	Outras Lavouras Temporárias (50 m)	Pastagem (1000 m)	Mosaico de Agricultura e Pastagem (250 m)	Soja (1000 m)	Ponte	Cerca	Manejo de Margem	Acostamento	Vegetação da Faixa de Domínio	Tamanho da Pista	Graus de liberdade	Verossimilhança	AIC	Delta AIC	Peso do AIC
Modelo 1	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X		12	-648.98	1322.29	0	0.09
Modelo 2	X		X	X	X	X		X	X	X		X	X		11	-650.23	1322.72	0.43	0.07
Modelo 3	X	X	X	X	X	X		X		X		X	X		11	-650.28	1322.82	0.53	0.07
Modelo 4			X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	11	-650.42	1323.11	0.82	0.06
Modelo 5		X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	12	-649.4	1323.12	0.83	0.06
Modelo 6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		13	-648.45	1323.28	0.99	0.05
Modelo 7	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X		12	-649.55	1323.41	1.13	0.05
Modelo 8		X	X	X	X	X		X	X	X		X	X		11	-650.59	1323.45	1.17	0.05

Modelos considerados na poderação	Canteiro Central	Corpos D'Água (300 m)	Formação Florestal (100 m)	Floresta Plantada (1000 m)	Outras Lavouras Temporárias (50 m)	Pastagem (1000 m)	Mosaico de Agricultura e Pastagem (250 m)	Soja (1000 m)	Ponte	Cerca	Manejo de Margem	Acostamento	Vegetação da Faixa de Domínio	Tamanho da Pista	Graus de liberdade	Verossimilhança	AIC	Delta AIC	Peso do AIC
Modelo 9	X	X	X	X		X		X	X	X		X	X		11	-650.72	1323.7 ₁	1.43	0.04
Modelo 10		X	X	X	X	X		X		X		X	X	X	11	-650.73	1323.7 ₄	1.45	0.04
Modelo 11		X	X	X	X	X		X		X		X	X		10	-651.76	1323.7 ₅	1.46	0.04
Modelo 12	X		X	X	X	X		X		X		X	X		12	-649.72	1323.7 ₆	1.47	0.04
Modelo 13	X	X	X	X	X	X		X				X	X		10	-651.78	1323.7 ₈	1.49	0.04
Modelo 14	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		13	-648.72	1323.8 ₁	1.52	0.04
Modelo 15	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		12	-649.83	1323.9 ₈	1.69	0.04
Modelo 16	X		X	X		X		X	X	X		X	X		10	-651.9	1324	1.74	0.04
Modelo 17		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		12	-649.86	1324	1.76	0.04
Modelo 18	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	13	-648.84	1324.1	1.76	0.04
Modelo 19	X		X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	12	-649.88	1324.1	1.78	0.04

Modelos considerados na poderação	Canteiro Central	Corpos D'Água (300 m)	Formação Florestal (100 m)	Floresta Plantada (1000 m)	Outras Lavouras Temporárias (50 m)	Pastagem (1000 m)	Mosaico de Agricultura e Pastagem (250 m)	Soja (1000 m)	Ponte	Cerca	Manejo de Margem	Acostamento	Vegetação da Faixa de Domínio	Tamanho da Pista	Graus de liberdade	Verossimilhança	AIC	Delta AIC	Peso do AIC
Modelo 20			X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	12	-649.88	1324.1	1.8	0.04
Modelo 21		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	13	-648.86	1324.1	1.81	0.04

Considerações finais

As dificuldades de evidenciar as associações com as fatalidades de aves decorre, entre outros aspectos, da elevada diversidade do grupo e das espécies afetadas por atropelamentos e são desafios presentes nas totalidades dos estudos que buscam entender as relações das aves com as rodovias. Muitos trabalhos, assim como este, acabam explorando relações com as fatalidades utilizando apenas uma categoria semelhante de variáveis preditoras, no meu caso avaliando apenas características espaciais. Para aumentar a capacidade de explicação há a necessidade de expandir o número de variáveis (espaciais, temporais, biológicas) e buscar, inclusive, as interações entre elas. Uma abordagem analítica a ser explorada é o uso de equações estruturais (Lefcheck 2016) que permitem colocar em uma mesma estrutura de modelo relações diretas e indiretas (entre variáveis preditoras) buscando explorar melhor relações de causa e efeito. Porém, a obtenção de diferentes tipos de variáveis pode ser um desafio por questões orçamentais, logísticas e temporais. Na minha dissertação, tive a oportunidade de explorar duas diferentes categorias de variáveis espaciais (cobertura vegetal na escala de paisagem local e características da rodovia e do seu entorno imediato, incluindo tanto aspectos de infraestrutura como da vegetação) de maneira remota, reduzindo custos de campo. O acesso a tecnologias remotas, como o Google Street View, vem se tornando aliado nas pesquisas científicas (Deus et al. 2016) e podem ajudar na redução dos custos. Entretanto, a extração manual das variáveis utilizando essa ferramenta pode prolongar o tempo da pesquisa.

Outra questão a ser considerada é que usualmente os trabalhos que exploram relações com a abundância de fatalidades utilizam valores observados que não são corrigidos por erros amostrais (Teixeira et al. 2013), como a capacidade do observador de encontrar uma carcaça (MacKenzie & Kendall 2002), o tempo de persistência da carcaça na via (Santos et al. 2011) e carcaças que acabam fora da área da rodovia (Delgado et al. 2019). Essas correções são utilizadas para chegar em um número estimado próximo do real de fatalidades naquela rodovia. Como estamos utilizando o número observado em cada segmento de 100 m, não teríamos como aplicar essas correções. Modelos hierárquicos para estimativas de fatalidades já estão sendo estudados para correções de estimativas espaciais (Ribeiro 2020), porém a aplicação para múltiplos sítios (segmentos) com extensões tão pequenas (100 m) exige o acúmulo de muitos dados para gerar estimativas precisas. Contudo, considerando os dois primeiros erros de amostragem e realizando a estimativa para o período do nosso estudo, o número de fatalidades observadas ($n=779$) diferiu em menos de 50% da estimada ($n=1183$;

CI=1025 – 1406) (EGR 2020). Assumi que essa diferença não afeta as associações com as variáveis preditoras. Porém, à medida que avançam os processos amostrais e analíticos será fundamental testar esse pressuposto.

Finalmente serão fundamentais os experimentos testando diferentes ações de manejo, que na medida do possível devem adotar desenhos como o *Progressive Change Bacips* (Thiault et al. 2017) que permite, a partir da amostragem repetida no tempo de segmentos pareados de rodovia com e sem intervenções de mitigação, antes e depois da mitigação, avaliar o tamanho do efeito da intervenção sobre a redução de fatalidades e a função que melhor descreve esse efeito ao longo do tempo. Com esse conjunto de ações esperamos que sejam produzidas novas orientações para a redução das fatalidades das aves nas rodovias.

Referências bibliográficas

- Ascensão F, Niebuhr BB, Moraes AM, et al (2019) End of the line for the golden lion tamarin? A single road threatens 30 years of conservation efforts. *Conserv Sci Pract* 1:e89. <https://doi.org/10.1111/CSP2.89>
- Bard AM, Smith HT, Egensteiner ED, et al (2002) A Simple Structural Method to Reduce Road-Kills of Royal Terns at Bridge Sites. *Wildl Soc Bull* 30:603–605
- Coffin AW (2007) From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *J Transp Geogr* 15:396–406. <https://doi.org/10.1016/J.JTRANGE0.2006.11.006>
- Delgado JD, Durán Humia J, Rodríguez Pereiras A, et al (2019) The spatial distribution of animal casualties within a road corridor: Implications for roadkill monitoring in the southern Iberian rangelands. *Transp Res Part D Transp Environ* 67:119–130. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2018.11.017>
- Deus E, Silva JS, Catry FX, et al (2016) Google Street View as an alternative method to car surveys in large-scale vegetation assessments. *Environ Monit Assess* 2016 18810 188:1–14. <https://doi.org/10.1007/S10661-016-5555-1>
- DeVault TL, Blackwell BF, Seamans TW, et al (2015) Speed kills: ineffective avian escape responses to oncoming vehicles. *Proc R Soc B Biol Sci* 282:. <https://doi.org/10.1098/RSPB.2014.2188>
- EGR (2020) Plano de mitigacao do Atropelamento de Fauna do Programa de Proteção e Monitoramento de Fauna
- Erickson WP, Johnson GD, Young DPJ (2005) A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions | Treesearch. In: *Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas: Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference*.

- Forman R, Sperling D, Bissonette J, et al (2003) Road ecology : science and solutions. Island Press Washington, DC United States. ISBN: 1559639334
- Forman RTT, Alexander LE (1998) Roads and Their Major Ecological Effects. *Annu Rev Ecol Syst* 29:207–231
- Freitas KA, Gonçalves LO, Kindel A, Teixeira FZ (2017) Road Effects on Wildlife in Brazilian Environmental Licensing. *Oecologia Aust* 21:1–19
- Freitas SR, Hawbaker TJ, Metzger JP (2010) Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest. *For Ecol Manage* 259:410–417. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.036>
- Gerow K, Kline NNC, Swann DE DE, Pokorny M (2010) Estimating annual vertebrate mortality on roads at Saguaro National Park , Arizona. *Human-Wildlife Interact* 4:283–292
- Gomes L, Grilo C, Silva C, Mira A (2009) Identification methods and deterministic factors of owl roadkill hotspot locations in Mediterranean landscapes. *Ecol Res* 24:355–370. <https://doi.org/10.1007/S11284-008-0515-Z>
- Grilo C, Koroleva E, Andrášik R, et al (2020) Roadkill risk and population vulnerability in European birds and mammals. *Front Ecol Environ* 18:323–328. <https://doi.org/10.1002/FEE.2216>
- Huijser MP, Abra FD, Duffield JW (2013) Mammal road mortality and cost – benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) in são paulo state , brazil. *Oecologia Aust* 17:129–146
- ICMBIO (2008) Plano de Ação Nacional para a Conservação de Aves de Rapina. Série Espécies Ameaçadas 5.
- Kociolek A, Grilo C, Jacobson S (2015) Flight doesn't solve everything: Mitigation of road impacts on Birds. van der Ree, Rod Smith, Daniel J; Grilo, Clara, eds *Handb Road Ecol* Chichester, UK John Wiley Sons, Ltd 281-289 Chapter 33 281–289. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.CH33>
- Kociolek AV, Clevenger AP (2009) Effects of paved roads on birds: a literature review and recommendations for the Yellowstone to Yukon Ecoregion - ScienceBase-Catalog. Tech Report, Canmore, Alberta Yellowstone to Yukon Initiat 8.
- Lefcheck JS (2016) piecewiseSEM: Piecewise structural equation modelling in r for ecology, evolution, and systematics. *Methods Ecol Evol* 7:573–579. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12512>
- Lepczyk CA, Fantle-Lepczyk JE, Misajon K, et al (2019) Long-term history of vehicle collisions on the endangered Nēnē (*Branta sandvicensis*). *PLoS One* 14:. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0210180>
- Loss SR, Will T, Marra PP (2014) Estimation of bird-vehicle collision mortality on U.S. roads. *J Wildl Manage* 78:763–771. <https://doi.org/10.1002/JWMG.721>

- MacKenzie DI, Kendall WL (2002) How Should Detection Probability Be Incorporated into Estimates of Relative Abundance? *Ecology* 83:2387. <https://doi.org/10.2307/3071800>
- Orłowski G (2008) Roadside hedgerows and trees as factors increasing road mortality of birds: Implications for management of roadside vegetation in rural landscapes. *Landsc Urban Plan* 86:153–161. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2008.02.003>
- Orłowski G (2005) Factors Affecting Road Mortality of the Barn Swallows *Hirundo rustica* in Farmland. *Acta Ornithologica*, 40(2) : 117-125 <https://doi.org/103161/0680400207>
- Pinto FAS, Clevenger AP, Grilo C (2020) Effects of roads on terrestrial vertebrate species in Latin America. *Environ Impact Assess Rev* 81:106337. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106337>
- Ramsden D (2003) Barn owls and major roads : results and recommendations from a 15-year research project. Barn Owl Trust ISBN 13 978-0-9525578-3-8
- Ribeiro T (2020) Estimando heterogeneidade na detecção e persistência de carcaças e número de atropelamentos com modelos de população aberta de marcação e recaptura. Dissertação, Programa de Pós-Graduação UFRGS
- Rosa CA da, Bager A (2012) Seasonality and habitat types affect roadkill of neotropical birds. *J Environ Manage* 97:1–5. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2011.11.004>
- Santos SM, Carvalho F, Mira A (2011) How Long Do the Dead Survive on the Road? Carcass Persistence Probability and Implications for Road-Kill Monitoring Surveys. *PLoS One* 6:e25383. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0025383>
- Seiler A, Helldin J-O (2006) Mortality in wildlife due to transportation In: Davenport J., Davenport J.L. (eds) *The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment*. Environmental Pollution, vol 10. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4504-2_8
- Silva I, Crane M, Savini T (2021) The road less traveled: Addressing reproducibility and conservation priorities of wildlife-vehicle collision studies in tropical and subtropical regions. *Glob Ecol Conserv* 27:e01584. <https://doi.org/10.1016/J.GECCO.2021.E01584>
- Soares CM, Dias RI (2020) Look both ways: factors affecting roadkill probability in Blue-black Grassquits (*Volatinia jacarina*). <https://doi.org/101139/cjz-2020-0004> 98:603–610. <https://doi.org/10.1139/CJZ-2020-0004>
- Teixeira FZ, Coelho AVP, Esperandio IB, Kindel A (2013) Vertebrate road mortality estimates: Effects of sampling methods and carcass removal. *Biol Conserv* 157:317–323. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2012.09.006>
- Thiault L, Kernaléguen L, Osenberg CW, Claudet J (2017) Progressive-Change BACIPS: a flexible approach for environmental impact assessment. *Methods Ecol Evol* 8:288–296. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12655>
- Vidal-Vallés D, Rodríguez A, Pérez-Collazos E (2018) Bird roadkill occurrences in Aragon, Spain. *Anim Biodivers Conserv* 41:379–388. <https://doi.org/10.32800/ABC.2018.41.0379>

Zuberogoitia I, del Real J, Torres JJ, et al (2015) Testing pole barriers as feasible mitigation measure to avoid bird vehicle collisions (BVC). *Ecol Eng* 83:144–151. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.06.026>