

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E
RECURSOS NATURAIS**

SIDNEI DA SILVA DORNELLES

**Impactos da duplicação de rodovias: variação da mortalidade de fauna
na BR 101 Sul**

São Carlos, junho de 2015.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E
RECURSOS NATURAIS**

SIDNEI DA SILVA DORNELLES

**Impactos da duplicação de rodovias: variação da mortalidade de fauna
na BR 101 Sul**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e Saúde da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências (Ciências Biológicas), área de concentração Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Dr. José Salatiel Rodrigues Pires

Co-orientador: Dr. Andreas Kindel

São Carlos, junho de 2015.

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

D713id

Dornelles, Sidnei da Silva.

Impactos da duplicação de rodovias : variação da mortalidade de fauna na BR 101 Sul / Sidnei da Silva Dornelles. -- São Carlos : UFSCar, 2015.
70 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

1. Ecologia. 2. Ecologia de estradas. 3. Atropelamento. 4. Modelos de adequabilidade de habitat. 5. Duplicação de rodovias. I. Título.

CDD: 574.5 (20^a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

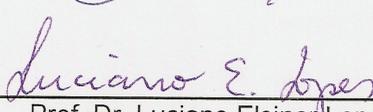
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

Folha de Aprovação

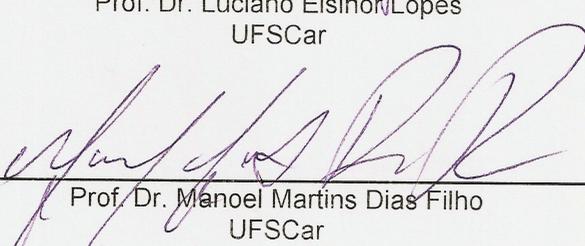
Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado do candidato Sidnei da Silva Dornelles, realizada em 12/06/2015:



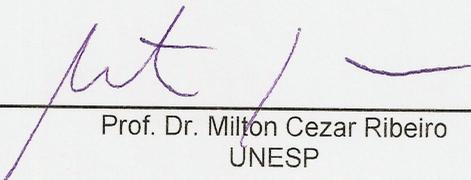
Prof. Dr. José Salatiel Rodrigues Pires
UFSCar



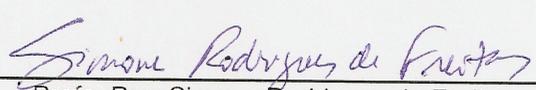
Prof. Dr. Luciano Elsinor Lopes
UFSCar



Prof. Dr. Manoel Martins Dias Filho
UFSCar



Prof. Dr. Milton Cezar Ribeiro
UNESP



Profa. Dra. Simone Rodrigues de Freitas
UFABC

À minha avó Lídia, meus pais e minha filha,
com quem aprendi e continuo aprendendo.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Salatiel Rodrigues Pires, pela confiança depositada, disponibilidade em ajudar nos mais variados problemas decorrentes de uma tese e amizade construída ao longo destes anos.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Andreas Kindel da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por ter aceito meu pedido para me co-orientar, pelos incentivos e por sua capacidade de dividir seus conhecimentos em Ecologia de Estradas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPG-ERN) da UFSCar pelo suporte administrativo, disciplinas oferecidas e professores disponibilizados pelo programa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio na concessão da bolsa de estudos pelo Programa de Formação em Recursos Humanos em CTI, oferecido aos professores do ensino superior do estado.

À Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) pelo apoio financeiro e logístico e incentivo à capacitação profissional.

Ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) / Coordenação Geral de Meio Ambiente (CGMAB) pela concessão dos relatórios do licenciamento ambiental (Planos Básicos Ambientais - Monitoramento de Fauna) de todo o período que a fauna foi monitorada na BR 101 Sul.

À Empresa de Supervisão e Gerenciamento Ambiental (ESGA) das obras de duplicação da BR 101 Sul, nas pessoas do Eng. Agron. Remy Toscano e Eng. Civ. Ricardo C. Dutra, que sanaram dúvidas sobre os monitoramentos e detalhes técnicos da obra de duplicação da rodovia.

Aos parceiros do Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação (LEEC) da UNESP de Rio Claro, Dr. Milton C. Ribeiro, John Wesley Ribeiro e Giordano Ciocheti, pelo acolhimento fraterno e suporte inestimável. Um agradecimento especial a Julia Camara de Assis pelas longas conversas via skipe, apoio, suporte e incentivo nos momentos finais da elaboração desta tese.

Aos colegas do Núcleo de Ecologia de Rodovia e Ferrovias (NERF) capitaneado pelo Prof. Dr. Andreas Kindel, pelas conversas nos encontros que tivemos. Em especial à Fernanda Z. Teixeira, sempre disponível no auxílio para a compreensão das questões relativas a mortalidade de fauna e uso do software Siriema.

A todos colegas do PPG-ERN, pelos vários momentos de descontração entre uma aula e outra. Ao Pedro Gatti Jr e ao Marcel Loyo Moitas que solidariamente me ajudaram entregando documentos na secretaria da pós. Em especial ao Giordano, amigo de longa data de Jataí e São Carlos, que me recebeu muitas e muitas vezes em sua casa.

Aos colegas e alunos da UNIVILLE, pelo apoio e incentivo.

Aos amigos, em especial aos Peores, e familiares que compreenderam minhas ausências em muitos encontros e confraternizações ao longo deste doutoramento. A Mi pela parceria durante todo o processo. A amizade e o carinho de vocês são o combustível da vida. Valeu!

Resumo

A morte por atropelamentos e o isolamento de populações devido ao efeito de barreira podem ser considerados os principais impactos diretos das rodovias sobre a fauna silvestre. Os mamíferos pelas características comportamentais, tamanho e carisma são um dos grupos de vertebrados que necessitam mitigações para a mortalidade, visto que também estão entre os que mais morrem em rodovias. Uma abordagem importante para mitigar efetivamente os atropelamentos em rodovias é localizar os pontos onde os atropelamentos estão concentrados. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variação da mortalidade de mamíferos em função da duplicação da rodovia BR 101 sul. Além da análise de agregação de K de Ripley, foram gerados modelos de adequabilidade de habitat (MAH) para identificar locais favoráveis a atropelamentos de espécies, usando no modelo grupos funcionais para a predição de trechos da rodovia com mais chances de atropelamento. Registrou-se 21 taxóns de mamíferos atropelados, sendo o mais abundante o gênero *Didelphis* (n=721), seguido de *Cerdocyon thous* (n=108). A abundância de carcaças diminuiu entre o antes e o depois da duplicação ($F=18,04$; $p<0,001$). Os *hotspots* não foram sobrepostos entre os períodos analisados, indicando que algum fator explicativo mudou ao longo da obra. Observando as variáveis que mais contribuíram com os modelos para cada grupo funcional, notamos que houve diferença nas variáveis mais influentes para cada grupo funcional nos diferentes períodos. Dos nove modelos gerados, notamos que seis variáveis contribuíram em mais de 20% em diferentes modelos. Houve diferença entre os períodos de antes, durante e depois da duplicação das variáveis que mais contribuíram ou do valor de contribuição nos grupos funcionais. Estas diferenças podem ser reflexo da mudança na distribuição dos atropelamentos entre os períodos da duplicação da rodovia. As duas abordagens demonstraram que houveram mudanças na magnitude e distribuição dos atropelamentos no período antes em relação ao período após a duplicação. Portanto uma rodovia com dois pavimentos funciona diferente de uma rodovia de quatro pavimentos

em relação a como a mastofauna reage em termos de movimentação e relação com paisagem.

Palavras-chave: ecologia de estradas; atropelamentos, modelos de adequabilidade de habitat; duplicação de rodovia.

Abstract

Roadkill and isolation of populations due to the barrier effect can be considered the main direct impacts of roads on wildlife. Mammals by behavioral, size and charisma features are one of the groups of vertebrates that require mitigation for mortality, as they are also among the most seriously injured on roads. An important approach to effectively mitigate roadkill on highways is to locate the points where roadkill are concentrated. The objective of this study was to evaluate the variation in mortality of mammals due to the duplication of the BR 101 highway south. In addition to the K Ripley aggregation analysis, were generated habitat suitability models (MAH) to identify favorable locations roadkill species, using the model functional groups for prediction of highway stretches with more chances to roadkill. It was recorded 21 taxa of mammals get hit, being the most abundant gender *Didelphis* (n = 721), followed by *Cerdocyon thous* (n = 108). The abundance of carcasses decreases between before and after the duplication (F 18.04 p = <0.001). Hotspots were not overlapped between the periods analyzed, indicating that some explanatory factor has changed over the work. Observing the variables that contributed most to the models for each functional group, we noted that there were differences in the most influential variables for each functional group in different periods. Of the nine generated models, we note that six variables contributed more than 20% in different models. There were differences between the periods before, during and after the duplication of the variables that contributed most or contribution value in functional groups. These differences may reflect the change in the distribution of roadkill among highway doubling periods. Both approaches demonstrated that there have been changes in the magnitude and distribution of roadkill in the period prior to the period after duplication. So a highway with two paviments differ from a highway with four paviments about how the mammals react in terms of movement and relationship to landscape.

Key-words: road ecology; roadkill, habitat suitability models; highway duplication.

Sumário

Introdução	14
Referências.....	17
Capítulo 1: Atropelamentos de mamíferos antes e depois da duplicação da rodovia BR 101- Sul, sul do Brasil	18
Resumo	18
Abstract.....	19
Introdução	20
Métodos	21
Sistema Estudado	21
Dados de Atropelamentos	22
Análise dos Dados	23
Resultados	25
Discussão	30
Referências.....	34
Capítulo 2: Identificação de pontos propensos a atropelamentos de mamíferos de médio e grande porte em rodovias utilizando modelo de adequabilidade de habitat por máxima entropia	37
Resumo	37
Abstract.....	38
Introdução	40
Método	42
Sistema Estudado	42
Dados de Atropelamentos	42
Grupos funcionais	43
Variáveis da paisagem.....	44
Procedimentos da modelagem e análise dos dados.....	45
Resultados	46
Discussão	50
Referências.....	54
Material Suplementar.....	56
Capítulo 3: Hotspots de atropelamento e modelos de adequabilidade de habitat como métodos complementares para avaliar locais de mitigação em rodovias	60

Resumo	60
Introdução	62
Métodos	62
Resultados e Discussão	63
Referências.....	68
Considerações Finais	69

Introdução

A morte por atropelamentos e o isolamento de populações devido ao efeito de barreira são considerados os principais impactos diretos das rodovias sobre a fauna silvestre (Forman & Alexander 1998, Trombulak & Frissell 2000, Jaeger et al. 2006). Indiretamente, as rodovias causam profundas mudanças na paisagem interferindo em processos ecológicos de populações e ecossistemas, com impactos intensos a curto prazo e crônicos a longo prazo (Laurence et al. 2009, Forman et al. 2003).

A mortalidade é tanta, que os atropelamentos estão sendo considerado como a principal causa de morte de vertebrados em muitas partes do mundo (Maher et al. 1991, Forman & Alexander 1998). No Brasil, a densidade de estradas ainda é pequena se comparada aos países da Europa e América do Norte, porém os números de animais mortos podem ser superiores a muitos países com maior malha viária (Forman & Alexander 1998, Seiler & Helldin 2006, Dornas et al. 2012). A maior biodiversidade, a quantidade de remanescentes de habitat cortados por estradas e consequente perda de habitat (Laurence et al. 2009), a falta de medidas de mitigação e as condições das estradas, podem ser causas destes altos índices.

Devido a magnitude do impacto sobre a fauna, muitas medidas têm sido executadas nas rodovias para mitigá-lo (Forman et al. 2003), como a instalação de passagens de fauna sob e sobre rodovias, cercas e redutores de velocidade, entre outros (Iuell et al 2003). Porém, o quão efetivas estas medidas são em diminuir os problemas que as rodovias causam a fauna, ainda carecem de respostas mais assertivas (van der Grift et al. 2013).

Monitoramentos de longa duração dos impactos causados por rodovias sobre a fauna são recentes no Brasil e estão centrados principalmente na mortalidade associada as rodovias (Dornas et al. 2012). Mesmo em outros países onde a Ecologia de Estradas é

mais desenvolvida, estudo de longa duração não são frequentes, como também não são monitoramentos que acompanham o antes e o depois do aumento da capacidade de tráfego de uma rodovia (van der Ree et al. 2007; Glista et al. 2009). No Brasil estudos considerando o antes e depois da duplicação de uma rodovia ainda não foram publicados.

Entre os anos de 2005 a 2008, fiz parte da equipe que monitorou a fauna da rodovia BR 101 Sul entre Palhoça/SC a Osório/RS, quando do início das obras, e neste período tive contato com a realidade complexa de uma obra deste porte. Havia a necessidade de buscar soluções para os impactos sobre a fauna já sabidos na literatura internacional, porém não dispúnhamos a época de estudos publicados com exemplos brasileiros para balizar as decisões que precisávamos tomar. Neste momento percebi a importância de utilizar o caso da BR 101 para gerar informações que pudessem contribuir com a mitigação dos impactos sobre a fauna para rodovias em duplicação.

A ideia inicial desta tese foi avaliar um dos impactos da rodovia, no caso a mortalidade da fauna, comparando esta mortalidade antes da duplicação com a mortalidade após a duplicação. Seria também avaliada a efetividade das medidas de mitigação implantadas na rodovia duplicada, no caso cercas e passagens de fauna, sobre a mortalidade da fauna. Infelizmente, não pude realizar o monitoramento das passagens de fauna por questões logísticas e administrativas, o que não permitiu esta avaliação no texto final desta tese.

Portanto, esta tese apresenta duas abordagens para avaliar a variação da mortalidade de mamíferos em função da duplicação da rodovia BR 101 Sul, onde além da análise com a estatística K de Ripley, foram gerados modelos de adequabilidade de habitat (MAH) para grupos funcionais dos mamíferos atropelados. Conta com dados coletados de forma sistemática ao longo de 10 anos não consecutivos por diferentes grupos de trabalho. Os dados mais antigos foram disponibilizados pelo NERF/UFRGS e

o restante dos dados pelo DNIT/CGMAB. Os dados do DNIT foram coletados por diferentes instituições contratadas para executar os monitoramentos de fauna como parte do licenciamento ambiental da duplicação da rodovia.

A tese está dividida em três capítulos.

O primeiro capítulo apresenta a variação na mortalidade de mamíferos antes e depois da duplicação da rodovia BR 101, com o objetivo de avaliar as mudanças na mortalidade de mamíferos com a duplicação da rodovia. Busquei discutir a adequação do protocolo de amostragem de fauna atropelada para licenciamento e monitoramento de rodovias exigido pelo órgão ambiental brasileiro.

No segundo capítulo utilizei os dados de atropelamento citados e o mapa de uso e cobertura da terra para gerar modelos de adequabilidade de habitat (MAH) ao longo da rodovia BR 101. O objetivo foi identificar locais propensos para atropelamentos de mamíferos de médio e grande porte na BR 101 Sul nos períodos antes, durante e depois da duplicação, utilizando um modelo de máxima entropia (MaxEnt). Nesta parte foi possível verificar quais as variáveis ambientais que estavam relacionadas com estes atropelamentos.

E o terceiro capítulo, pensado para ser uma nota científica, apresenta uma comparação visual dos dois métodos empregados anteriormente, com o objetivo de comparar os resultados obtidos pela abordagem dos *hotspots* com a geração de modelos de adequabilidade de habitat, de forma a contribuir com a identificação de locais para mitigação da mortalidade.

A formatação dos capítulos 2 e 3 seguiu a formatação do capítulo 1, que já foi submetido a uma revista. Entretanto, para facilitar a leitura, as figuras e tabelas foram mantidas no corpo do texto.

Referências

- DORNAS, R.A.P.; KINDEL, A.; BAGER, A.; FREITAS, S.R. 2012. Avaliação da mortalidade de vertebrados em rodovias no Brasil. In: BARGER, A. *Ecologia de Estradas: Tendências e perspectivas*. Lavras: UFLA. 2012. 314p.
- FORMAN, R.T.T.; ALEXANDER, L.E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review on Ecology and Systematics*, 29: 207-231. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207>
- FORMAN, R.T.T.; SPERLING, D.; BISSONETTE, J.A.; CLEVINGER, A.P.; CUTSHALL, C.D.; DALE, V.H.; FAHRIG, L.; FRANCE, R.; GOLDMAN, C.R.; HEANUE, K.; JONES, J.A.; SWANSON, F.J.; TURRENTINE, T.; WINTER, T.C. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington.
- GLISTA, D.J.; DEVAULT, T.L.; DEWOODY, J.A. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning*, 91: 1-7.
- IUELL, B.; BEKKER, G.J.; CUPERUS, R.; DUFEK, J.; FRY, G.; HICKS, C.; HLAVAC, V.; KELLER, V.; ROSELL, C.; SANGWINE, T.; TRØSLØV, N.; WANDALL, M.B. 2003. *Wildlife and traffic: a European handbook for identifying conflicts and designing solutions*. KNNV Publishers, Utrecht.
- JAEGER, J.A.G.; FAHRIG, L.; EWALD, K.C. 2006. Does the configuration of road networks influence the degree to which roads affect wildlife populations? Pp.13-17 In: C.L. Irwin, P. Garrett & K.P. McDermott (eds.). *Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC. 712p.
- LAURANCE, W.T.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S.G.W. 2009. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution* 24 (12): 659-669.
- MAHER, D. S.; LAND, E. D.; ROELKE, M. E. 1991. Mortality patterns of panthers in Southwest Florida. *Proceedings of the Annual Conference of Southeastern Association Fish and Wildlife Agencies* 45:201-207.
- SEILER, A., J. O. HELLDIN. 2006. Mortality in wildlife due to transportation, p. 165-189. In: J. Davenport & J. L. Davenport (Eds) *The ecology of transportation: Managing mobility for the environment*, Springer Netherlands, 410 p.
- TROMBULAK, S.C.; FRISSELL, C.A. 2000. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation Biology*, 14: 18-30.
- Van der GRIFT, E.A.; van der REE, R.; FAHRIG, L.; FINDLAY, S.; HOULAHAN, J.; JAEGER, J. A. G.; KLAR, N.; MADRIÑAN, L.F.; OLSON, L. 2013. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation* 22:425-448.
- Van der REE, R.; van der GRIFT, E.A.; GULLE, N.; HOLLAND, K.; MATA, C.; SUAREZ, F. 2007. Overcoming the barrier effect of roads: how effective are mitigation strategies? An international review of the use and effectiveness of underpasses and overpasses designed to increase the permeability of roads for wildlife. In: Irwin, C.L.; Nelson, D.; McDermott, K.P. (eds). 2007. *Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, pp 423-431

Capítulo 1: Atropelamentos de mamíferos antes e depois da duplicação da rodovia

BR 101- Sul, sul do Brasil

Sidnei S. Dornelles^{1,3}, Andreas Kindel² & José S. R. Pires³

¹ Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE, Departamento de Ciências Biológicas, Rua Paulo Malschitzki, 10, Campus Universitário - Zona Industrial. CEP 89219-710 - Joinville, SC, Brasil.

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Av. Bento Gonçalves, 9500, setor IV, prédio 434222, sala 207, Caixa Postal 15007, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

³ Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Rodovia Washington Luiz, Km 235, Caixa Postal 676, CEP.: 13565-905, São Carlos, SP, Brasil.

Emails: sidnei.silva@univille.br, andreas.kindel@ufrgs.br, salatiel@ufscar.br

Capítulo submetido a Revista Oecologia Australis (ISSN 2177-6199).

Resumo

A morte por atropelamentos e o isolamento de populações devido ao efeito de barreira podem ser considerados os principais impactos das rodovias sobre a fauna silvestre. Uma abordagem importante para mitigar efetivamente os atropelamentos em rodovias é localizar os pontos onde as mortes são concentradas. Os mamíferos pelas características comportamentais, tamanho e carisma são um dos grupos de vertebrados que necessitam mitigações para a mortalidade, visto que também estão entre os que mais morrem em rodovias. O objetivo deste trabalho foi avaliar a mortalidade de mamíferos na BR 101, antes (15 amostragens), durante (11 amostragens) e depois (19 amostragens) da duplicação do trecho do RS. Além de dados de diversidade, comparou-se os hotspots de atropelamentos nos três períodos: antes, durante e depois da duplicação, utilizando a estatística K de Ripley. Registrou-se 21 taxa de mamíferos atropelados, sendo o mais abundante o gênero *Didelphis* (n=721), seguido de *Cerdocyon thous* (n=108). A abundância de carcaças diminuiu entre o antes e o depois da duplicação (F=18,04; p<0,001). Os hotspots não foram sobrepostos entre os períodos analisados, indicando que algum fator explicativo mudou ao longo da obra. Estes resultados precisam ser vistos com cautela, pois mesmo com o número de amostragens obtidos, não foi considerado a taxa de remoção de carcaça, e o número de atropelamentos foi considerado baixo. Concluímos que abordagens de monitoramentos de fauna com amostragens mensais podem gerar dados com limitações de poder conclusivo.

Recomendamos outras abordagens que permitam um maior n amostral de atropelamentos, em amostragem menos espaçadas temporalmente.

Palavras-chave: atropelamentos, mamíferos, padrão espacial, monitoramento.

Abstract

Roadkill and the isolation of populations due to the barrier effect can be considered the main impacts of roads on wildlife. An important approach to effectively mitigate roadkill on highways is to locate the points where the roadkill are concentrated. Mammals by behavioral, size and charisma features are a group of vertebrates that require mitigation for mortality, since they are also among the most seriously injured on roads. The objective of this study is to evaluate the mortality of mammals of BR 101, before (15 samples), during (11 samples) and after (19 samples) of doubling the stretch of RS. Besides diversity data, compared the roadkill hotspots in the three periods: before, during and after the duplication, using the Ripley's K statistics. Was recorded 21 mammals taxa, being the most abundant genus *Didelphis* ($n = 721$), followed by *Cerdocyon thous* ($n = 108$). The abundance decreased between before and after duplication ($F=18,04$ $p<0,001$). Hotspots were not overlapping between the periods analyzed, indicating that some explanatory factor changed throughout the work. These results must be viewed with caution, because even with the number of samples obtained was not considered the removal rate carcass, and the number of roadkill was considered low. We conclude that approaches to monitoring of fauna with monthly sampling can generate data with limited conclusive power. We recommend other approaches that allow a greater sample size n roadkill at least temporally spaced sampling.

Keywords: Road kill, mammals, spatial pattern, monitoring

Introdução

As rodovias afetam a fauna silvestre de várias maneiras. A morte por atropelamentos e o isolamento de populações devido ao efeito de barreira podem ser considerados os principais impactos diretos sobre a fauna (Forman & Alexander 1998, Trombulak & Frissell 2000, Jaeger *et al.* 2006). Indiretamente, as rodovias causam profundas mudanças na paisagem interferindo em processos ecológicos de populações e ecossistemas, com impactos intensos a curto prazo e crônicos a longo prazo (Forman *et al.* 2003, Laurence *et al.* 2009).

Devido a magnitude destes impactos, muitas medidas de mitigação têm sido propostas, mas os estudos sobre efetividade das mesmas, embora presentes na literatura internacional (van der Grift, 2013), são recentes no Brasil. Entre estas medidas estão passagens de fauna, cercas e redutores de velocidade, que para serem eficazes, necessitam ser precisamente instaladas nos locais de concentração de atropelamentos (Glista *et al.* 2009). Estes locais, denominados *hotspots*, geralmente estão distribuídos de forma não aleatória na paisagem, portanto podem ser explicados por um ou mais fatores, como tráfego e corredores de habitat disponíveis (Malo *et al.* 2004, Seiler 2005, Ramp *et al.* 2006, Gunson *et al.* 2011, Coelho *et al.* 2012). Portanto, o sucesso da mitigação de mortalidade depende da correta localização dos *hotspots* na rodovia (Clevenger *et al.* 2003).

Nas últimas décadas a mortalidade de animais por atropelamento tem merecido mais atenção no Brasil (Dornas *et al.* 2012), devido o interesse da ciência e dos órgãos ambientais neste impacto, principalmente em função do aumento da malha viária por novas rodovias ou duplicação de rodovias já existentes. Estimativas sugerem que o número de animais atropelados no país pode chegar a 14,7 (\pm 44) milhões/ano em todo território (Dornas *et al.* 2012). Porém, os métodos de obtenção destas informações ainda

carecem de padronização. Diversas abordagens são empregadas no que se refere ao esforço amostral, ao tratamento dos dados e aos critérios para indicação de pontos críticos e de avaliação das medidas mitigadoras (Lauxen 2012).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças na mortalidade de mamíferos com a duplicação da rodovia BR 101 no extremo sul do Brasil. Com este estudo de caso, buscamos discutir a adequação do protocolo de amostragem de fauna atropelada para licenciamento e monitoramento de rodovias exigido pelo órgão ambiental.

Métodos

Sistema Estudado

A área de estudo corresponde a 97,3 km da BR101 no sul do Brasil, entre os municípios de Torres (29°17'58.69"S, 49°46'12.28"O) a Osório (29°53'37.86"S, 50°17'4.02"O) no estado do Rio Grande do Sul (RS) (Fig.1). É uma importante rodovia do litoral brasileiro, e no caso do RS é a principal via de comunicação com o norte do país, fazendo também a conexão com os países do Mercosul. O tráfego é intenso em toda a rodovia mantendo-se em torno de 10.000 veículos/dia/ano (DNER 1999) e por este motivo, no ano de 2005 iniciaram as obras de duplicação deste trecho da rodovia que passou de duas pistas pavimentadas para quatro pistas pavimentadas, concluídas em setembro de 2011. Os dados mais atuais disponíveis apontam para um tráfego de 13.500 veículos/dia/ano (DNIT 2009).

A BR101 está localizada entre a encosta da Serra Geral e a Planície Costeira no RS, cruzando diferentes regiões geomorfológicas (planície e encosta) com diferentes graus de alterações antrópicas sobre a cobertura vegetal e a estrutura da paisagem (Brack 2009). O clima da região é caracterizado como temperado úmido com verões quentes - Cfa segundo Köppen-Geiger (Kottek *et al.* 2006). Esta inserida no Bioma Floresta

Atlântica, e faz parte da Reserva da Biosfera, incluindo ecossistemas como Floresta Ombrófila, Restinga e Lagoas Costeiras. A paisagem apresenta importantes remanescentes deste bioma, mas também áreas de pastagem, agrícolas e áreas urbanas.

Os mamíferos estão entre os vertebrados com mais registros de atropelamentos em rodovias brasileiras (Dornas *et al.* 2012), devido as suas características, como padrão de deslocamento, tamanho e tolerância as estradas ou ambientes antropizados. Também podem ser considerados animais carismáticos, o que atrai esforços de mitigação focados no grupo, e o grande porte de alguns justifique medidas que evitem colisões por questões de segurança do usuário da rodovia (Huijser *et al.* 2013). A maior detectabilidade das carcaças dos animais de médio e grande porte (Teixeira *et al.* 2013), e a mais fácil identificação taxonômica dos mamíferos atropelados, foram os critérios de escolha deste grupo para a análise dos dados, visto que foram utilizados bancos de dados de diferentes coletores.

Dados de Atropelamentos

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos do trabalho de Coelho *et al.* (2008), coletados entre 2003 e 2004 e dos monitoramentos de fauna realizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT, entre os anos de 2005 a 2008 (Dornelles *et al.* 2012) e entre 2011 a 2013 (DNIT/UFSC/FAPEU). As contagens de animais atropelados utilizaram o mesmo método: um veículo à baixa velocidade (40 a 60 km/h) com a presença de dois observadores, sem a ocorrência de chuvas intensas, registro em GPS dos locais que as carcaças foram encontradas e identificação por especialistas ao menor nível taxonômico possível.

Entre janeiro de 2003 a janeiro de 2004 foram realizadas 13 vistorias mensais, entre abril de 2005 e janeiro de 2008 foram sete vistorias sazonais e entre abril de 2011 a abril de 2013 foram 25 vistorias mensais.

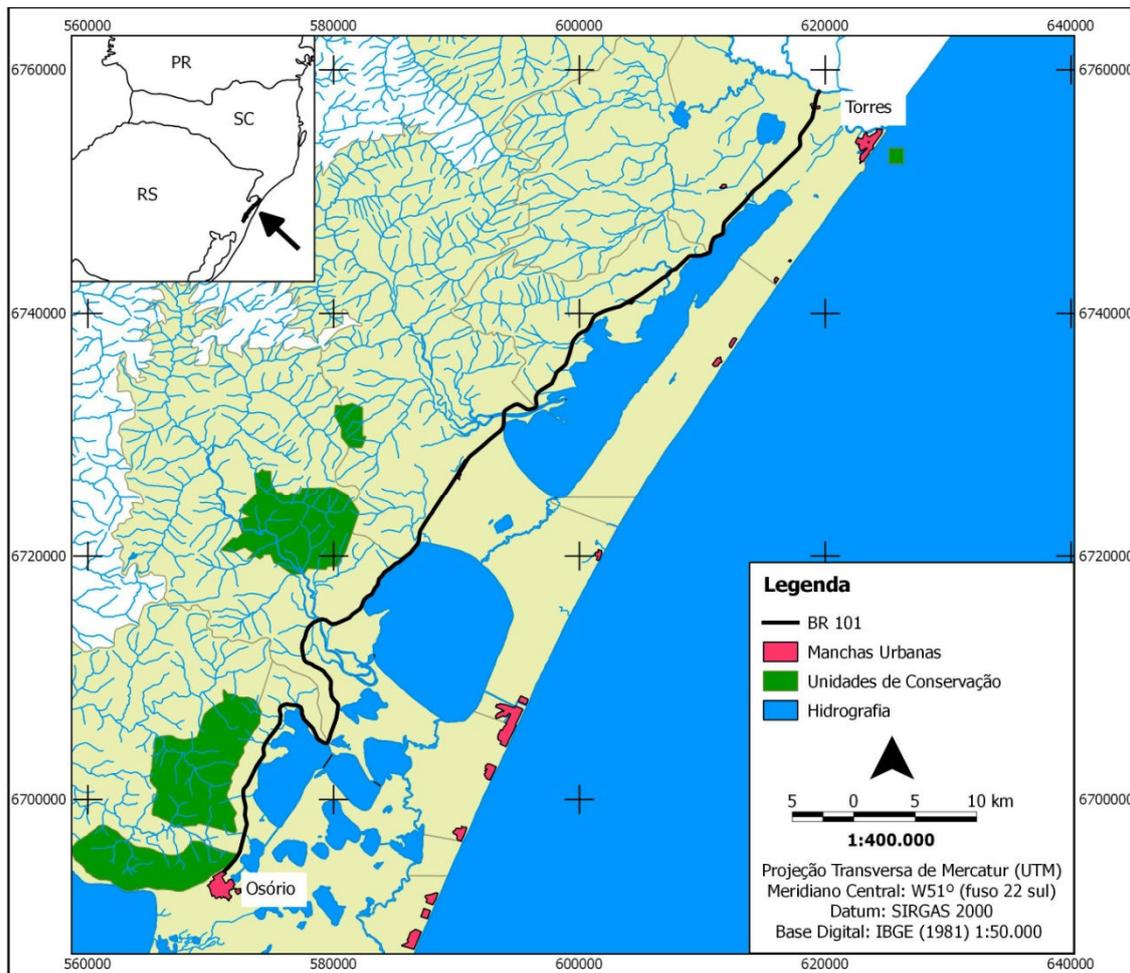


Figura 1: Localização da BR 101 Sul, entre Torres e Osório no Rio Grande do Sul.

Análise dos Dados

Os registros de atropelamentos foram separados em três períodos: antes, durante e depois da duplicação. Embora, oficialmente as obras de duplicação do trecho do RS iniciaram em março de 2005, foi considerado nas análises o início efetivo, em março de 2006, e o término em setembro de 2011. Portanto, foram consideradas 15 vistorias antes do início das obras, 11 vistorias durante as obras, e 19 vistorias depois do término das obras de duplicação.

Para a análise da riqueza foram considerados todos os registros de mamíferos obtidos. Para avaliar a diferença da riqueza entre períodos (antes, durante e depois) com

diferença no número de indivíduos amostrados foram geradas curvas de rarefação de espécies (Gotelli 2009) utilizando o programa PAST (Hammer *et al.* 2001).

A estatística K de Ripley é usada para avaliar a dispersão de eventos em diferentes escalas espaciais (Ripley 1981, Clewenger *et al.* 2003). Para avaliar a escala em que houveram agregações significativas dos atropelamentos de mamíferos de médio e grande porte (> 1 kg) nos períodos antes, durante e depois da duplicação, foi utilizada a estatística K de Ripley como proposto por Coelho e colaboradores (2008), disponível no software Siriema v1.1 (Coelho *et al.* 2011). Utilizou-se um raio inicial de 100 m com incrementos de 400 m para cada etapa com o objetivo de definir as diferentes escalas avaliadas. Este tamanho de raio inicial foi escolhido, por considerarmos que corresponde à escala em que medidas mais comuns de mitigação, como passagens de fauna, cercas e redutores de velocidade, podem ser mais eficazes. A significância das possíveis agregações foi avaliada subtraindo os valores de K observados a partir da média obtida de 1000 simulações de Monte Carlo, das distribuições aleatórias dos atropelamentos para cada escala (chamada função L). Valores acima dos limites de confiança (95%) obtidos a partir das simulações indicam as escalas com agregações significativas.

Para identificar a localização dos *hotspots* de atropelamentos dos dados utilizados nas análises anteriores, realizou-se a análise 2D Hotspot disponível no software Siriema v1.1 (Coelho *et al.* 2011). Nesta análise, a estrada foi dividida em segmentos de mesmo tamanho, no caso de 200 m cada. Um círculo de raio r foi centrado no primeiro segmento, e todos os eventos de atropelamentos dentro da área do círculo foram somados. Esta soma foi multiplicada por um fator de correção que considera o comprimento do caminho no interior do círculo. Em seguida, o círculo foi centrado no próximo segmento e a soma foi novamente computada e multiplicada pelo fator de correção. Este procedimento foi repetido para todos os segmentos da estrada, resultando num valor de intensidade de

agregação para cada trecho de estrada. A análise de *hotspot* foi realizada utilizando um raio de 100 m para avaliar a dependência da escala em padrões de correlação. No entanto, se os resultados obtidos através da análise de K de Ripley indicaram não haver agregação significativas de atropelamentos nesta escala, a análise de *hotspot* não foi realizada. Para avaliar a importância da intensidade de agregação para cada trecho de estrada, subtraiu-se o valor de intensidade obtido do valor médio de 1.000 simulações de Monte Carlo da distribuição aleatória dos eventos de atropelamentos. Os valores de intensidade de agregação acima do limite de confiança superior (95%) foram considerados significativos.

Para testar se os *hotspots* para os diferentes períodos estavam sobrepostos, transformou-se os dados de intensidade de agregação em uma variável binária representando a presença de *hotspot* de atropelamentos. Com esses dados binários, realizou-se um teste de associação através da correlação de Pearson como medida de semelhança entre as variáveis. O nível de significância ($\alpha = 0,05$) foi obtido utilizando 1.000 aleatorizações (Manly, 1997). Os trechos da estrada de 200 m foram consideradas unidades de amostragem, bem como a presença ou ausência de *hotspots* de atropelamentos em cada trecho da estrada para cada período foi considerado como variável. Os testes de associação foram realizadas no software MULTIV 3.31 (Pillar 2006).

Resultados

No total foram registrados 21 táxons de mamíferos identificadas até espécie ou gênero e cinco não identificadas em razão do estado de conservação da carcaça. Do total de 975 carcaças de mamíferos registradas, o gênero *Didelphis* foi o mais abundante com 73,9% (n=721) dos registros, seguido de *Cerdocyon thous* com 11,1% (n=108), *Procyon*

cancrivorus com 3,6% (n=35) e *Dasypus novemcinctus* com 2,7% (n=26). O restante das espécies tiveram menos que 1% de frequência relativa (Tabela 1).

Tabela 1: Espécies de mamíferos atropelados por período antes, durante e depois da duplicação na BR101-Sul, RS (NI – não identificado, ^a - espécie ameaçada de extinção).

Espécie	Nome popular	Antes	Durante	Depois	Total
Mammalia NI	NI	5	2	-	7
<i>Chironectes minimus</i>	Cuíca-dágua	1	-	-	1
<i>Didelphis albiventris</i>	Gambá-de-orelha-branca	273	192	88	553
<i>Didelphis aurita</i>	Gambá-de-orelha-preta	4	2	-	6
<i>Didelphis</i> sp.	Gambá	162	-	-	162
<i>Lutreolina crassicaudata</i>	Cuíca-de-cauda-grossa	5	-	-	5
<i>Tamandua tetradactyla</i>	Tamanduá mirim	-	1	1	2
<i>Dasypus novemcinctus</i>	Tatu-galinha	6	15	5	26
<i>Dasypus</i> sp.	Tatu	7	-	-	7
<i>Artibeus</i> sp.	Morcego das frutas	1	1	-	2
<i>Chiroderma</i> sp.	Morcego	-	2	-	2
Chiroptera NI	Morcego	1	-	-	1
<i>Leopardus tigrinus</i>	Gato do mato pequeno	1	-	-	1
<i>Leopardus</i> sp.	Gato do mato	-	-	1	1
<i>Puma yagouarundi</i>	Gato mourisco	-	-	1	1
<i>Cerdocyon thous</i>	Cachorro-do-mato	46	35	27	108
<i>Lycalopex gymnocercus</i>	Raposa do campo	-	-	2	2
<i>Lontra longicaudis</i>	Lontra	-	2	-	2
<i>Galictis cuja</i>	Furão	5	7	-	12
<i>Procyon cancrivorus</i>	Mão-pelada	17	15	3	35
Carnivora NI	NI	-	-	1	1
<i>Cavia cf. magna</i>	Preá	7	2	-	9
<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	Capivara	-	-	2	2
<i>Sphigurus villosus</i>	Ouriço-cacheiro	3	1	5	9
<i>Myocastor coypus</i>	Ratão do banhado	3	2	2	7
Rodentia NI	Roedor	8	4	-	12
Total		555	283	138	976
Total (> 1 kg)		527	272	137	936

A curva de rarefação mostrou que a diversidade de mamíferos atropelados antes, durante e depois da duplicação, tendem a ser iguais, visto a sobreposição das curvas e seus intervalos de confiança (Figura 2). Embora o número de indivíduos encontrados depois da duplicação seja menor que antes e durante ($F=18,04$; $p < 0,001$), a reamostragem do método de rarefação mostra que a diversidade é semelhante.

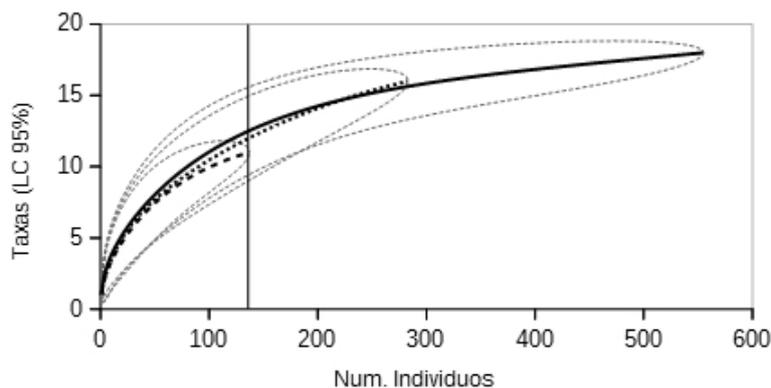


Figura 2: Curva de rarefação de indivíduos para o antes (linha cheia), durante (linha pontilhada) e depois (linha tracejada) da duplicação da BR101-Sul/RS. Intervalo de confiança 95% (linha cinza pontilhada).

Nas análises das agregações dos atropelamentos foram considerados somente os mamíferos de médio e grande porte devido a maior detectabilidade na rodovia, não sendo considerados os pequenos e os não identificados. A estatística de K de Ripley indicou haver agregação nos três períodos da análise (antes, durante e depois) com e sem *Didelphis albiventris* para o raio de interesse (100 m), possibilitando a análise dos *hotspots*. Não foram considerados os registros de atropelamentos de *Didelphis albiventris* e *Didelphis* sp. para as análises de *hotspots* pois sua presença constante ao longo da rodovia poderia mascarar a distribuição dos atropelamentos das outras espécies de interesse. Portanto, na análise dos *hotspots* foram considerados 92 atropelamentos de antes da duplicação, 80 de durante e 49 de depois da duplicação da rodovia (Figura 3).

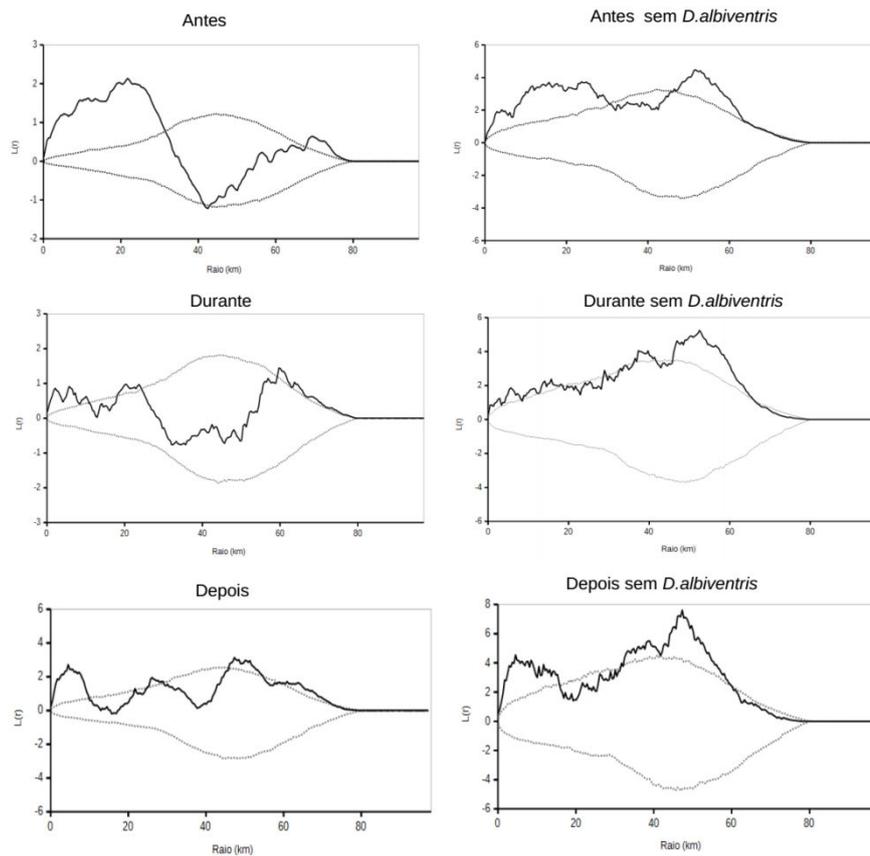


Figura 3: Estatística L (K obs – K exp) para mamíferos de médio e grande porte antes, durante e depois da duplicação da BR101 Sul, com e excluindo *Didelphis albiventris*. A linha preta cheia representa $L(r)$ e as linhas pontilhadas os limites de confiança (95%).

Na análise dos *hotspots* foram identificados 10 pontos de maior concentração de atropelamentos para antes da duplicação, 11 pontos durante a duplicação e cinco pontos depois da duplicação (Figuras 4 e 5). A correlação (r) entre os *hotspots* dos três períodos foi menor que 0,3 indicando não haver sobreposição destes pontos entre os períodos (antes-durante $r = -0,02$; durante-depois $r = 0,12$; antes-depois $r = 0,19$).

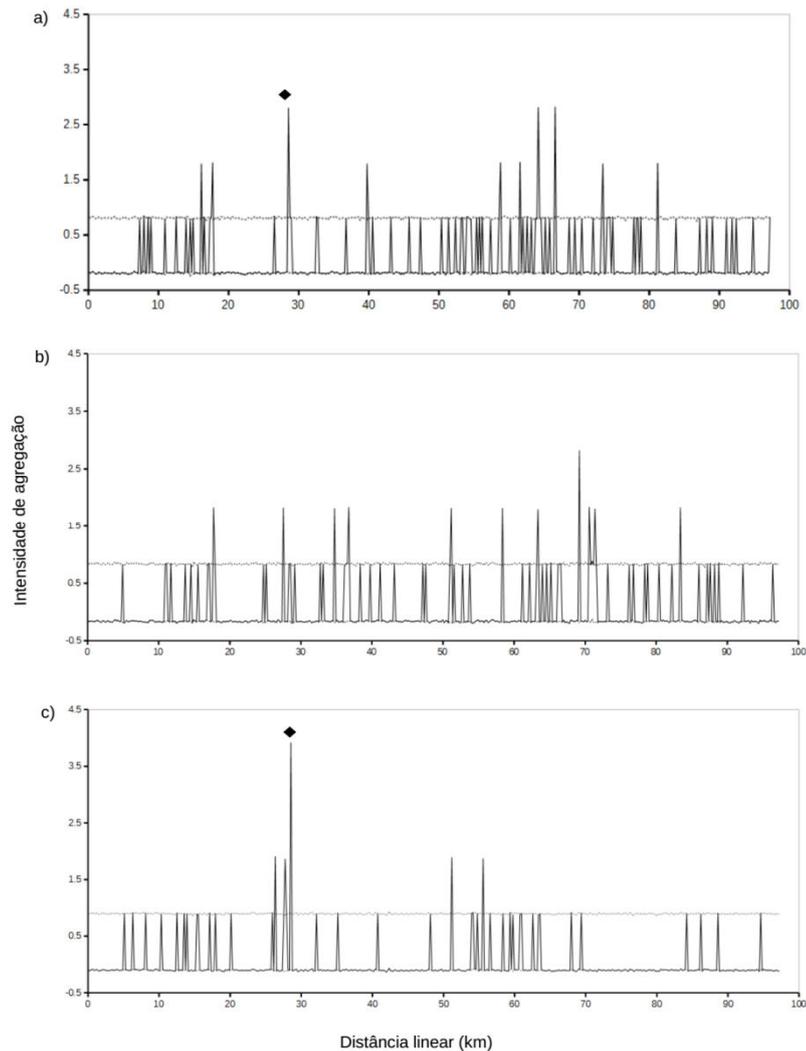


Figura 4: Intensidade de agregação de atropelamentos (linha preta) para a) antes, b) durante e c) depois da duplicação da BR101-Sul, RS. Valores acima do limite de confiança (95%) (linha pontilhada) indicam *hotspots* de mortalidade significativos. O losango marca o segmento da rodovia com *hotspot* nos períodos antes e depois da duplicação.

Observando a sobreposição das linhas de intensidade de agregação de atropelamentos para os três períodos na Figura 4, percebemos que existe um ponto de maior intensidade no mesmo segmento da estrada (km 28,53) que permaneceu como *hotspot* antes e depois da duplicação da rodovia (Fig. 5).

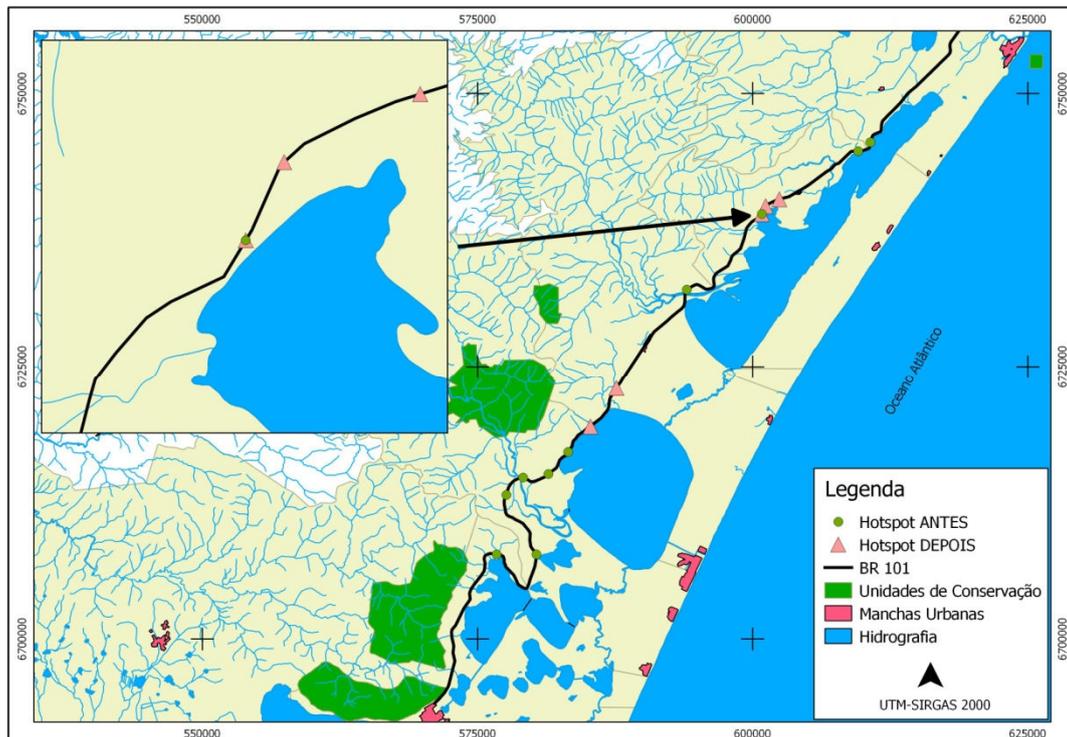


Figura 5: Localização dos *hotspots* de atropelamentos de mamíferos de médio e grande porte para antes e depois da duplicação da BR 101 Sul, RS.

Discussão

Estudos sobre mortalidade de fauna com vários anos de monitoramento e que envolvam a duplicação de uma rodovia, ainda não foram publicados Brasil. Os estudos de maior duração existentes envolvem o monitoramento de estruturas de passagem de fauna após sua instalação em rodovias já existentes (Abra 2012, Bager & Fontoura 2013), mas nenhum considerando as mudanças ocorridas no processo de ampliação de uma rodovia.

Em relação a riqueza de espécies, seria esperado uma diminuição do número de espécies de mamíferos atropelados após a duplicação da rodovia, porém a riqueza mostrou-se semelhante ao longo dos períodos estudados. Bager & Rosa (2011) demonstraram que o esforço de amostragem pode influenciar na diversidade encontrada,

pois constataram que amostragens de mortalidade mensais ao longo de um ano não são suficientes para conhecer toda a riqueza de mamíferos atropelados numa rodovia no sul do Brasil, porém amostragens semanais aparentemente são. Ou seja, são necessários longos períodos de amostragens para se conhecer a riqueza da mastofauna que morre numa rodovia, principalmente se pretendemos encontrar espécies raras, como as ameaçadas de extinção. Neste sentido, a riqueza não é um bom parâmetro de monitoramento de mitigação em rodovias, pois tem pouca resolução temporal.

Neste trabalho, assim como em outros, os gambás (gênero *Didelphis*) estão entre os animais mais encontrados mortos nas rodovias no Brasil (Gumier-Costa & Sperber 2009, Rezini 2010, Coelho *et al.* 2008). Embora existam duas espécies que ocorrem no sul do Brasil, uma considerada mais florestal (*D. aurita*), e outra mais sinantrópica (*D. albiventris*), elas são simpátricas em muitos locais, dificultando a correta identificação dependendo do estado de conservação da carcaça. De maneira geral, *D. albiventris* é bem abundante na beira de rodovias, devido à disponibilização de recursos, como grãos, que as rodovias oferecem e a presença de ambientes perturbados, aos quais são mais tolerantes. Fahrig & Rytwinski (2009) discutem que dependendo da espécie, as rodovias podem ter efeitos negativos, neutros ou positivos sobre a abundância. *D. albiventris* aparentemente sofre um efeito positivo ou neutro em relação às rodovias, considerando as abundâncias. Portanto, quando considerada na análise espacial dos atropelamentos mascara os dados de atropelamentos de espécies que podem estar sob efeito negativo da rodovia.

O número de carcaças obtidas depois da duplicação foi menor que as obtidas antes e durante a duplicação. De maneira geral, rodovias com menos pistas e menor tráfego tendem a provocar mais atropelamentos de animais do que rodovias largas e com maior movimento, pois estas últimas aumentam o evitamento da fauna (Seiler & Helldin 2006,

Van Langevelde *et al.* 2009). Se por um lado diminuem os atropelamentos por evitação, aumentam o isolamento das populações destas espécies.

Os locais dos *hotspots* mudaram entre antes e depois da obra, bem como o número de atropelamentos foi menor depois da duplicação. As possíveis explicações que precisam ser exploradas noutros estudos, são prováveis mudanças na paisagem, o aumento da evitação da via duplicada em relação a simples e as medidas mitigadoras implantadas, como passagens de fauna subterrâneas e cercas. Embora, não tenha sido encontrado semelhança na distribuição espacial entre os *hotspots*, um permaneceu constante na análise de dois períodos da obra, indicando que os fatores citados acima não tiveram efeito neste trecho da rodovia.

No entanto, é necessário que se faça algumas considerações sobre pressupostos assumidos nas análises que exigem cautela nas conclusões destes resultados. Não foi considerado a detecção de carcaças e a taxa de remoção de carcaças durante as varreduras nos períodos analisados. Assumiu-se que o efeito da detecção e remoção não afetaram o padrão espacial dos atropelamentos, porém já existem trabalhos que demonstram que a remoção de carcaças por carniceiros é influenciada pelo tamanho corporal e densidade destas (Slater 2002, Teixeira *et al.* 2013) e que a detecção é influenciada pelo tamanho corporal (Teixeira *et al.* 2013). Embora o grupo analisado, mamíferos, em boa parte possuam tamanho corporal de médio a grande porte, é provável que os pequenos mamíferos tenham sido subestimados na sua contagem devido a detectabilidade e ao fato que animais pequenos e de médio porte só permanecem entre 2 a 16 horas na rodovia, antes de serem removidos por carniceiros (Santos *et al.* 2011).

Os dados neste estudo demonstram que amostragens mensais, mesmo que por vários anos, podem não ser suficientes para se obter um bom número de carcaças necessárias para comparar com segurança a magnitude e os padrões espaciais dos

atropelamentos entre os períodos da obra. Neste sentido, a Instrução Normativa N° 13/2013 (IBAMA 2013), lançada pelo órgão de licenciamento ambiental, que estipula que as amostragens para atropelamentos de fauna devam ser mensais, não está em acordo com os resultados encontrados neste levantamento de longa duração. Ou seja, os dados obtidos dentro desta abordagem podem ser pouco conclusivos. Um ponto positivo que já está incluído na normativa é a necessidade de obter as taxas de remoção de carcaças para correção das amostragens mensais. Isto corrige a magnitude, mas não resolve a questão da distribuição espacial.

Dentro desta perspectiva, recomenda-se que outras abordagens devam ser testadas, como amostragens diárias ou no máximo semanais, durante períodos concentrados, como por exemplo de 3 a 4 meses seguidos, nas diferentes fases de uma obra rodoviária. E que este período de amostragem concentrada, ocorram em períodos com maior atividade dos animais, como épocas de dispersão ou deslocamento. A possível limitação desta abordagem, seria a não detectabilidade de todas as espécies, porém se obteria mais informações para analisar se houve ou não mudança espacial dos atropelamentos ao longo do tempo.

Referências

- ABRA, F. D. 2012. Monitoramento e avaliação das passagens inferiores de fauna presentes na rodovia SP-225 no município de Brotas, São Paulo. *Dissertação*. USP. 72p. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-21012013-095242/en.php>.
- BAGER, A.; C. A. DA ROSA. 2011. Influence of sampling effort on the estimated richness of road-killed vertebrate wildlife. *Environmental Management*: 1-8.
- BAGER, A.; FONTOURA, V. 2013. Evaluation of the effectiveness of a wildlife roadkill mitigation system in wetland habitat. *Ecological Engineering* 53 :31– 38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.006>.
- BRACK, P. 2009. Vegetação e paisagem do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: exuberância, raridade e ameaças à biodiversidade. Pp.32-55 In: N.M. Würdig, S.M.F. de Freitas (Org.). *Ecossistemas e biodiversidade do Litoral Norte do RS*. Porto Alegre: Nova Prova. 287p.
- CLEVINGER, A.P.; CHRUSZCZ, B.; GUNSON, K.E. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109: 15-26. [http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00127-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00127-1)
- COELHO, A.V.P.; COELHO, I.P.; TEIXEIRA, F.Z.; KINDEL, A. 2011. *SIRIEMA. Spatial Evaluation of Road Mortality Software*. User's Guide V.1.1. UFRGS, Porto Alegre, Brazil. 23p. <http://www.ufrgs.br/biociencias/siriema>.
- COELHO, I.P.; COELHO, A.V.P.; KINDEL, A. 2008. Road-kills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research*, 54: 689-699. <http://dx.doi.org/10.1007/s10344-008-0197-4>
- COELHO, I.P.; TEIXEIRA, F.Z.; COLOMBO, P.; COELHO, A.V.P.; KINDEL, A. 2012. Anuran road-kills neighboring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. *Journal of Environmental Management*. 112: 17-26.
- DNER. 1999. *Estudo De Impacto Ambiental – EIA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul BR-101 Florianópolis (SC) - Osório (RS)*. Convênio DNER / IME. Volume 1. 125p.
- DNIT. 2009. *Estimativa do Volume Médio Diário Anual – VMD*. In: <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/control-de-velocidade/vmda-2009.pdf>. (Acesso em 03 set 2014).
- DORNAS, R.A.P.; KINDEL, A.; BAGER, A.; FREITAS, S.R. 2012. Avaliação da mortalidade de vertebrados em rodovias no Brasil. In: BARGER, A. *Ecologia de Estradas: Tendências e perspectivas*. Lavras: UFLA. 2012. 314p.
- DORNELLES, S.S.; SCHLICKMAN, A.; CREMER, M.J. 2012. Mortalidade de vertebrados na Rodovia BR101, no sul do Brasil. In: BARGER, A. *Ecologia de Estradas: Tendências e perspectivas*. Lavras: UFLA. 2012. 314p.
- FORMAN, R.T.T.; SPERLING, D.; BISSONETTE, J.A.; CLEVINGER, A.P.; CUTSHALL, C.D.; DALE, V.H.; FAHRIG, L.; FRANCE, R.; GOLDMAN, C.R.; HEANUE, K.; JONES, J.A.; SWANSON, F.J.; TURRENTINE, T.; WINTER, T.C. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington.
- FORMAN, R.T.T.; ALEXANDER, L.E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review on Ecology and Systematics*, 29: 207-231. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207>
- GLISTA, D.J.; DEVAULT, T.L.; DEWOODY, J.A. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning*, 91: 1-7.
- GOTELLI, N.J. 2009. *Ecologia*. 4ª edição. Londrina: Ed. Planta. 287p.

- GUMIER-COSTA, F.; SPERBER, C.F. 2009. Atropelamentos de vertebrados na floresta Nacional de Carajás, Pará, Brasil. *Acta Amaz.* 39(2):459-466.
- GUNSON, K.E.; MOUNTRAKIS, G.; QUACKENBUSH, L.J. 2011. Spatial wildlife-vehicle collision models: A review of current work and its application to transportation mitigation projects. *Journal of Environmental Management*, 92: 1074-1082. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.027>
- HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.
- HUIJSER, M.P.; ABRA, F.D.; DUFFIELD, J.D. 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 Australis* 7(1): 129-146. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2013.1701.11>
- IBAMA. 2013. *Instrução Normativa nº 13, de 19 de julho de 2013*. Diário Oficial da União, seção 1 nº 140: 62-67. In: http://www.lex.com.br/legis_24627586_instrucao_normativa_n_13_de_19_de_julho_de_2013.aspx.
- JAEGER, J.A.G.; FAHRIG, L.; EWALD, K.C. 2006. Does the configuration of road networks influence the degree to which roads affect wildlife populations? Pp.13-17 In: C.L. Irwin, P. Garrett & K.P. McDermott (eds.). *Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC. 712p.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3): 259-263.
- LAURANCE, W.T.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S.G.W. 2009. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution* 24 (12): 659-669.
- LAUXEN, M.S. 2010. A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna: Um guia de procedimentos para tomada de decisão. *Monografia*. UFRGS. 164p. <http://hdl.handle.net/10183/72378>.
- MALO, J.E.; SUÁREZ, F.; DÍEZ, A. 2004. Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology*, 41: 701-710. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00929.x>
- MANLY, B.F.J. 1997. *Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology*, 2nd edn. Chapman and Hall, London.
- PILLAR, V. 2006. *Multivariate Exploratory Analysis, Randomization Testing and Bootstrap Resampling User's Guide v.2.4*. UFRGS. 51p.
- RAMP, D.; WILSON, V.K.; CROFT, D.B. 2006. Assessing the impacts of roads in peri-urban reserves: Road-based fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *Biological Conservation*, 129: 348-359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2005.11.002>
- REZINI, J.A. 2010. Atropelamento de mamíferos em rodovias do leste dos Estados do Paraná e Santa Catarina, sul do Brasil. *Dissertação*. UFPR. <http://www.prppg.ufpr.br:8080/ecologia/sites/default/files/Dissertacoes/2010/Josias%20Alan%20Rezini.pdf>.
- RIPLEY, B.D. 1981. *Spatial Statistics*. John Wiley & Sons, New York. 252p.
- SANTOS, S.M.; 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

SEILER, A. & J. O. HELLDIN. 2006. Mortality in wildlife due to transportation, p. 165-189. In: J. Davenport & J. L. Davenport (Eds) *The ecology of transportation: Managing mobility for the environment*, Springer Netherlands, 410 p.

SEILER, A. 2005. Predicting locations of moose–vehicle collisions in Sweden. *Journal of Applied Ecology*, 42: 371-382.

SLATER, F.M. 2002. An assessment of wildlife road casualties – the potential discrepancy between numbers counted and number killed. *Web Ecology*, 3: 33-42.

TEIXEIRA, F.Z.; COELHO, A.V.P.C.; ESPERANDIO, I.B. & KINDEL, A. 2013. Vertebrate road mortality estimates: Effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*, 157: 317–323.

TROMBULAK, S.C. & FRISSELL, C.A. 2000. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation Biology*, 14: 18-30.

VAN LANGEVELDE, F., C. VAN DOOREMALEN & C. F. JAARSMA. 2009. Traffic mortality and the role of minor roads. *Journal of Environmental Management* 90(1): 660-667 .

Capítulo 2: Identificação de pontos propensos a atropelamentos de mamíferos de médio e grande porte em rodovias utilizando modelo de adequabilidade de habitat por máxima entropia

Sidnei S. Dornelles^{1,4}, John Wesley Ribeiro², Julia Camara de Assis², Milton Cezar Ribeiro², Giordano Ciocheti², Andreas Kindel³ & José S. R. Pires⁴.

¹ Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE. Departamento de Ciências Biológicas. Joinville, SC.

² Universidade Estadual Paulista – UNESP. Departamento de Ecologia - Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação. Campus Rio Claro – SP.

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Departamento de Ecologia. Porto Alegre, RS.

⁴ Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. São Carlos, SP.

Resumo

Os efeitos deletérios da construção de estradas podem resultar na perda significativa de biodiversidade, tanto em escala local como regional, devido à restrição de espécies entre populações, aumento da mortalidade, fragmentação de habitats e efeito de borda, invasão por espécies exóticas, ou aumento do acesso humano aos habitats naturais. O conhecimento sobre o tamanho do impacto na diversidade e nos ecossistemas do Brasil ainda é incipiente. Isto associado a complexidade e multiplicidade dos efeitos das rodovias sobre a diversidade neotropical, torna difícil e complexa a previsão de quais efeitos, e onde, eles são mais significativos. O uso de grupos funcionais é uma abordagem que pode ajudar a entender os impactos sobre conjuntos de espécies com atributos funcionais semelhantes, ajudando na tomada de decisões. Modelos de adequabilidade de habitat (MAH) para identificar locais favoráveis a atropelamentos de espécies, usando no modelo não dados de espécie-alvo, mas sim, de grupos funcionais possibilita a predição de trechos de rodovia com mais chances de atropelamento. O objetivo deste trabalho foi identificar locais propensos para atropelamentos de mamíferos de médio e grande porte na BR 101 Sul utilizando um modelo de máxima entropia (MaxEnt) antes, durante e depois da duplicação. Foram geradas 10 réplicas de modelos para cada grupo funcional,

com 70% dos dados de presença (atropelamento) para geração dos modelos (i.e., treinos) e 30% para validação (i.e., teste). Os nove modelos de adequabilidade de habitat, que podemos entender como distribuição de locais adequados a atropelamentos, gerados para os três grupos funcionais (HMG, LMG e LMS) nos três períodos (antes, durante e depois da duplicação) tiveram valores de AUC que variaram de 0,954 a 0,864, indicando o bom desempenho destes modelos gerados pelo Maxent. De maneira geral, a variável distância dos corpos d'água e as variáveis distância e porcentagem de campo antrópico trouxeram mais respostas em relação a adequabilidade do habitat, para diferentes grupos: uma associação positiva com a presença da água e uma associação aparentemente negativa com os campos. O método possui vantagens como extrapolar as probabilidades de atropelamentos para outras regiões com paisagem semelhante, contribuindo com a mitigação da mortalidade nas rodovias.

Palavras-chave: modelo adequabilidade de habitat; ecologia de estradas; mamíferos; duplicação de rodovia.

Abstract

The deleterious effects of road construction may result in significant loss of biodiversity, both at the local and regional levels, due to the restriction of species between populations, increased mortality, habitat fragmentation and edge effect, invasion by exotic species or increased human access to natural habitats. Knowledge about the size of impact on diversity and ecosystems in Brazil is still incipient. This associated complexity and multiplicity of the effects of highways on the neotropical diversity makes it difficult and complex to forecast what effect and where they are more significant. The use of functional groups is an approach that can help understand the impacts on sets of species with similar functional attributes, helping in decision-making. Habitat suitability models (HSM) to

identify favorable locations roadkill species, using the model is not a target species data, but of functional groups enables the prediction of highway segments most likely to roadkill. The objective of this study was to identify likely locations for roadkill of medium and large mammals in the BR 101 South using a maximum entropy model (MaxEnt) before, during and after the duplication. Ten replicates models were generated for each species groups, with 70% of presence data (roadkill) for generating models (i.e., training) and 30% for validation (i.e., test). The nine habitat suitability models, that we can understand how local distribution suitable for roadkill, generated for the three functional groups (HMG, LMG and LMS) for the three periods (before, during and after doubling) had AUC values AUC ranging from 0.954 to 0.864, indicating good performance of these models generated by Maxent. In general, the variable distance from water bodies and variables distance and percentage of anthropic field brought more answers regarding the suitability of habitat for different groups: a positive association with the presence of water and a seemingly negative association with fields. The method has advantages as extrapolate likely to run over to other regions with similar landscape, contributing to the mitigation of mortality on highways.

Keywords: Model suitability of habitat; road ecology; mammals; highway duplication.

Introdução

As rodovias e o aumento associado da presença humana representam uma das principais formas de transformação da paisagem pelo homem e causa de efeitos negativos em uma variedade de atributos do ecossistema, incluindo a biodiversidade (Findlay & Bourdages 2000). Os efeitos deletérios da construção de estradas podem resultar na perda significativa de biodiversidade, tanto em escala local como regional, devido à restrição de deslocamento de indivíduos entre populações, aumento da mortalidade, fragmentação de habitats e efeito de borda, invasão por espécies exóticas, ou aumento do acesso humano aos habitats (Trombulak & Frissell 2000).

O Brasil conta com uma malha viária de 1.720.613,9 km (DNIT 2014) que está em expansão com a construção de novas rodovias ou com a ampliação da capacidade de rodovias já existentes, como decorrência do desenvolvimento econômico e aumento populacional (Bager & Fontoura 2012). A densidade de rodovias (km/km²) no Brasil ainda é pequena quando comparada com países da Europa e América do Norte (Forman et al. 2003) e o conhecimento sobre o tamanho do impacto da malha viária na biodiversidade e nos ecossistemas do país ainda é incipiente. Isto associado à complexidade e multiplicidade dos efeitos das rodovias sobre a diversidade neotropical, torna difícil e complexa a previsão de quais efeitos, e onde, eles são mais significativos (Findlay & Bourdages, 2000).

A decisão sobre o tipo e o local da instalação de estruturas que possam ser eficazes em mitigar os impactos das rodovias, como passagens de fauna, cercas e redutores de velocidade, muitas vezes é tomada com base na pouca informação disponível, e disto decorre que muitas acabam por não serem eficientes (Glista et al. 2009). Como consequência, a viabilidade de populações animais pode continuar em risco e recursos financeiros terão sido mal aplicados (van de Grift et al. 2013).

A recomendação das medidas de mitigação serem espécie-específicas é feita por Lesbarrères e Fahrig (2012), mas a prática disto pode ser inviável por motivos econômicos num país megadiverso como o Brasil, tornando medidas que sejam multi-espécies mais factíveis e efetivas.

O uso de grupos funcionais é uma abordagem que pode ajudar no planejamento da mitigação sobre conjuntos de espécies com atributos funcionais semelhantes, auxiliando na tomada de decisões e pode beneficiar espécies comumente atropeladas até as raramente atropeladas se pertencerem ao mesmo grupo funcional. Os grupos devem ser formados de acordo com a percepção da paisagem pelas espécies, principalmente em relação à escala em que respondem às variáveis ambientais (Lyra-Jorge et al. 2010).

Ciocheti (2014) propôs o uso de modelos de adequabilidade de habitat (MAH) para identificar locais favoráveis a atropelamentos de espécies, usando no modelo não dados de espécie-alvo, mas sim, de grupos funcionais que são sensíveis às variáveis da paisagem em diferentes escalas. Esta abordagem contribuiu com o entendimento das associações entre variáveis ambientais e atropelamento de espécies, possibilitando a identificação de trechos de rodovia com maiores chances de ocorrerem atropelamentos.

O algoritmo de máxima entropia, usado no software MaxEnt, vem sendo mais utilizado para modelos preditivos de adequabilidade de habitat devido a características como ser um método que permite utilizar dados só de presença, a precisão da previsão mesmo com poucos dados e a sua facilidade de uso (Phillips et al. 2006).

Um delineamento amostral que considere o antes e depois de um empreendimento rodoviário é altamente recomendado (Clevenger 2005, Roedenbeck et al. 2007) pois oferece maior grau inferencial para precisar o tamanho do impacto e alterações ao longo do tempo.

O objetivo deste trabalho foi identificar locais propensos para atropelamentos de mamíferos de médio e grande porte na BR 101 Sul nos períodos antes, durante e depois da duplicação, utilizando um modelo de máxima entropia (MaxEnt).

Método

Sistema Estudado

A área de estudo corresponde a 97,3 km da BR101 no sul do Brasil, entre os municípios de Torres (29°17'58.69"S, 49°46'12.28"O) a Osório (29°53'37.86"S, 50°17'4.02"O) no estado do Rio Grande do Sul (RS) (Fig. 1). É uma importante rodovia do litoral brasileiro onde o tráfego é intenso mantendo-se em torno de 13.500 veículos/dia/ano (DNIT 2009). Em 2005 iniciaram as obras de duplicação deste trecho da rodovia de duas pistas pavimentadas para quatro pistas pavimentadas, concluídas em setembro de 2011.

A BR101 está entre a encosta da Serra Geral e a Planície Costeira no RS, inserida no Bioma Mata Atlântica, cruzando diferentes regiões geomorfológicas (planície e encosta) com diferentes graus de impacto humano sobre a cobertura vegetal e a estrutura da paisagem (Brack 2009). O clima da região é caracterizado como temperado úmido com verões quentes - Cfa segundo Köppen-Geiger (Kottek *et al.* 2006).

Dados de Atropelamentos

Os dados de atropelamentos utilizados foram coletados entre janeiro de 2003 a janeiro de 2004 em 13 vistorias mensais, entre abril de 2005 e janeiro de 2008 em 07 vistorias sazonais e entre abril de 2011 a abril de 2013 em 25 vistorias mensais. As contagens de animais atropelados utilizaram o mesmo método: um veículo à baixa velocidade (40 a 60 km/h) com a presença de dois observadores, sem a ocorrência de

chuvas intensas, registro em GPS dos locais que as carcaças foram encontradas e identificação ao menor nível taxonômico possível.

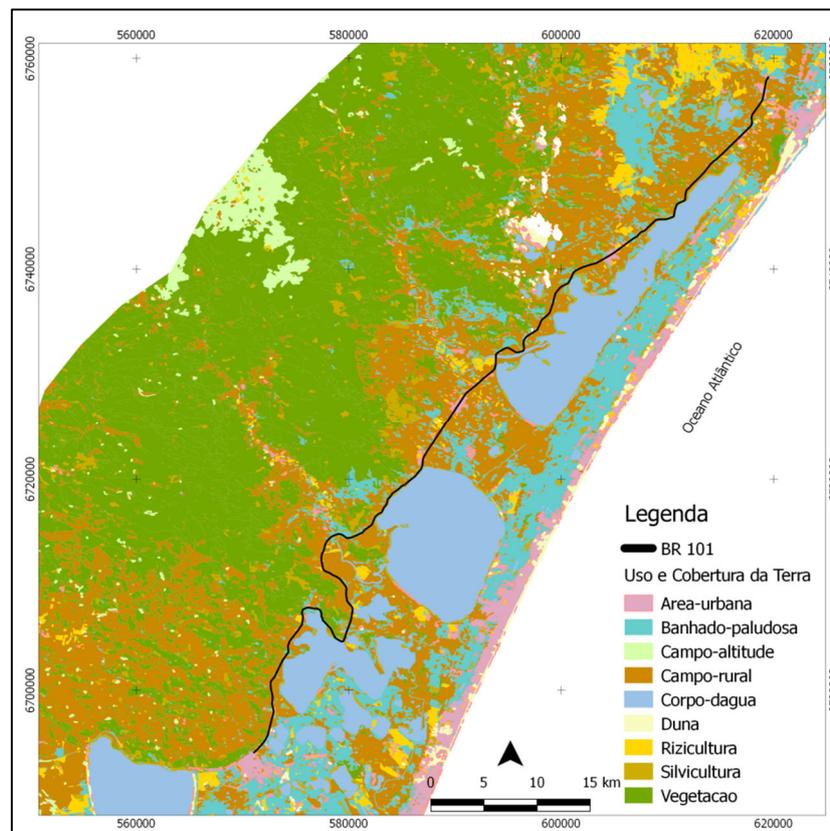


Figura 1: Mapa de localização do trecho de 93,7 km analisados da BR 101 Sul e classes de uso e cobertura da terra.

Grupos funcionais

Os mamíferos foram escolhidos para as análises neste trabalho pois a detectabilidade das carcaças dos animais de médio e grande porte é maior (Teixeira *et al.* 2013) e a identificação taxonômica dos mamíferos atropelados é mais fácil, visto que foram utilizados bancos de dados de diferentes coletores. E também, porque estão entre os vertebrados com mais registros de atropelamentos em rodovias brasileiras (Dornas *et al.* 2012).

Os mamíferos de médio e grande porte foram divididos em três grupos funcionais considerando a capacidade de deslocamento na paisagem (mobilidade) e a sensibilidade à estrutura e as mudanças da paisagem. Para cada grupo funcional foi estimado um raio

de deslocamento médio, com base na literatura e no conhecimento de especialistas sobre as espécies em questão, conforme proposto por Ciocheti (2014). Este raio foi utilizado para estabelecer uma área de pesquisa (*buffer*) em cada ponto de atropelamento de acordo com o grupo funcional, que serviu para calcular a porcentagem de cada variável ambiental da paisagem dentro do *buffer*.

Os grupos funcionais estabelecidos, seguindo o proposto por Ciocheti (2014) e Lyra-Jorge et al. (2010) foram: a. grupo Generalista com Alta Mobilidade (HMG) - espécies generalistas ou oportunistas, menos seletivas a tipo e qualidade de habitat, e com maior capacidade de deslocamento na paisagem, com raio estimado de deslocamento de 3.000 m; b. grupo Generalista com Baixa Mobilidade (LMG) - espécies generalistas ou oportunistas menos seletivas a tipo e qualidade de habitat, e com menor capacidade de deslocamento na paisagem, raio estimado de deslocamento 1.500 m; c. grupo Especialista com Baixa Mobilidade (LMS) - espécies especialistas, mais seletivas a tipo e qualidade de habitat, e com menor capacidade de deslocamento na paisagem, raio estimado de deslocamento de 300 m.

Variáveis da paisagem

As variáveis ambientais da paisagem foram extraídas do mapa de uso e cobertura da terra com nove classes (Fig. 1), elaborado por classificação supervisionada da imagem de satélite CBERS 2 (CCD-156-136-07/04/05) com resolução de 30 m no Programa Spring 5.2.3 (Camara et al. 1996). Destas nove classes, três foram desconsideradas ou pela distância da rodovia ou pela cobertura insignificante na paisagem e das seis restantes, foram derivadas as nove variáveis ambientais (Quadro 1). As métricas foram calculadas no Programa Grass 6.4 (Grass 2014).

Quadro 1: Descrição das classes de uso e cobertura da terra e as variáveis ambientais derivadas de cada uma. A métrica de distância considera a menor distância de um ponto até uma classe; e a métrica de porcentagem corresponde à proporção área ocupada por uma classe em relação às outras dentro do raio associado a cada grupo funcional de mamíferos.

Classe de Uso e Cobertura da terra	Descrição	Variável
Corpo d'água	corpos d'água continentais (rios e lagoas)	Distância de corpos d'água
Área urbana	idades e vilas	Distância de área urbana Porcentagem de área urbana
Área úmida	banhados, florestas paludosas e riziculturas. (A rizicultura foi considerada funcionalmente semelhante às outras áreas úmidas).	Distância de áreas úmidas Porcentagem de áreas úmidas
Campo antrópico	campos e pastagens para pecuária	Distância de campo antrópico Porcentagem de campo antrópico
Vegetação	áreas de vegetação natural (florestas em diferentes estádios sucessionais)	Distância de vegetação Porcentagem de vegetação

Procedimentos da modelagem e análise dos dados

Os modelos para prever a probabilidade de atropelamentos foram feitos no software Maxent 3.3.3 (Phillips et al. 2004; Phillips et al. 2006). O método de Jackknife foi utilizado para quantificar a contribuição relativa de cada uma das variáveis da paisagem para modelar a probabilidade de atropelamento para cada um dos grupos funcionais estabelecidos. Foram geradas 10 réplicas de modelos para cada espécie, com 70% dos dados de presença (atropelamento) para geração dos modelos (i.e., treinos) e 30% para validação (i.e., teste). Os modelos gerados foram avaliados pelos valores de AUC (Área Sob a Curva ROC) (Peterson 2006). Todas as análises estatísticas não realizadas no MaxEnt foram realizadas no software R versão 3.0.1 (R Development Core Team, 2014).

Resultados

Em relação às espécies atropeladas registradas por grupos funcionais, o grupo Generalista com Alta Mobilidade (HMG) possui cinco táxons, com 95 % dos atropelamentos representados por *C. thous*, e o grupo Especialistas com Baixa Mobilidade (LMS) possui sete táxons, com 52% dos atropelamentos representados por *P. cancrivorus*. Já o grupo Generalista com Baixa Mobilidade (LMG) possui 3 táxons, onde 65% dos registros foram de *D. novemcinctus* (Tab. 1).

Tabela 1: Número de registros de mamíferos de médio e grande porte atropelados na BR 101 Sul, entre 2003 e 2013, organizados por grupo funcional e por período em relação à duplicação da rodovia.

Grupos Funcionais e Espécies	Número atropelamentos por período			
	Antes	Durante	Depois	Total
Generalista Mobilidade Alta (HMG)				
<i>Leopardus gutulus*(=tigrinus)</i>	1	-	-	1
<i>Leopardus sp.</i>	-	-	1	1
<i>Cerdocyon thous</i>	46	35	27	108
<i>Lycalopex gymnocercus</i>	-	-	2	2
<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	-	-	2	2
Sub-total	47	35	32	114
Generalista Mobilidade Baixa (LMG)				
<i>Dasybus novemcinctus</i>	6	15	5	26
<i>Dasybus sp.</i>	7	-	-	7
<i>Myocastor coypus</i>	3	2	2	7
Sub-total	16	17	7	40
Especialista Mobilidade Baixa (LMS)				
<i>Didelphis aurita</i>	4	2	-	6
<i>Tamandua tetradactyla*</i>	-	1	1	2
<i>Puma yagouarundi*</i>	-	-	1	1
<i>Lontra longicaudis</i>	-	2	-	2
<i>Galictis cuja</i>	5	7	-	12
<i>Procyon cancrivorus</i>	17	15	3	35
<i>Sphigurus villosus</i>	3	1	5	9
Sub-total	29	28	10	67
Total	92	80	49	221

*Espécies Ameaçadas de Extinção no Rio Grande do Sul

A maioria das espécies registradas são consideradas florestais, em maior ou menor grau de dependência deste tipo de ambiente. *Hydrochoerus hydrochaeris*, *Myocastor*

coypus e *Lontra longicaudis* são consideradas de habitats semi-aquáticos e *Lycalopex gymnocercus* de área abertas (Paglia et al. 2012).

Os nove modelos de adequabilidade de habitat, que podemos entender como distribuição de locais adequados a atropelamentos, gerados para os três grupos funcionais (HMG, LMG e LMS) nos três períodos (antes, durante e depois da duplicação) tiveram valores de AUC que variaram de 0,954 a 0,864, indicando o bom desempenho destes modelos gerados pelo MaxEnt (ver Material Suplementar).

Das nove variáveis testadas, seis foram identificadas pelo método do *Jackknife* como as que contribuíram mais substancialmente em um ou mais dos modelos: percentagem de vegetação, porcentagem de campos antrópicos, distância de campos antrópicos, distância de áreas úmidas, percentagem de área urbana e distância de corpos d'água (Tab. 2).

Analisando as variáveis que mais contribuíram com os modelos de HMG, observamos que a porcentagem de vegetação foi a variável com maior contribuição para antes (62,2%), durante (40%) e depois (59,6%) da duplicação (Tab. 2). Outra variável que contribuiu substancialmente em HMG foi porcentagem de campos antrópicos no modelo de durante a duplicação (21,6%; Tab. 2).

Observando as curvas de resposta marginal para as variáveis que mais contribuíram com os modelos preditivos (Fig. 2), notamos que a probabilidade de atropelamentos de HMG manteve-se variando próximo ao valor de 0,4 com relação à cobertura de vegetação antes da duplicação. Durante e depois da duplicação a probabilidade diminuiu com o aumento da cobertura da vegetação (Fig. 2a). Em relação à porcentagem de campos antrópicos, que contribuiu mais para o modelo de durante a duplicação, a probabilidade de atropelamento aumentou conforme aumentou a cobertura de campos antrópicos até cerca de 60% e então decresceu (Fig. 2b).

Tabela 2: Variáveis com maiores contribuições relativas (entre parênteses) estimadas por *Jackknife* para os modelos preditivos de atropelamentos na rodovia BR 101 Sul nos períodos antes, durante e depois de sua duplicação para grupos funcionais de mamíferos. HMG: generalista com alta mobilidade; LMG: generalista com baixa mobilidade; LMS: especialista com baixa mobilidade.

Período	Grupo Funcional		
	HMG	LMG	LMS
Antes	% de vegetação (62.2)	Dist. de campo antrópico (47.8)*	Dist. de corpos d'água (40.5)*
	% de áreas úmidas (13.3)	% de áreas úmidas (11.9)	Dist. de campo antrópico (21.9)*
	Dist. de corpos d'água (9.4)*	Dist. de vegetação (10.4)	Dist. de área urbana (11.3)*
Durante	% de vegetação (40.0)	Dist. de campo antrópico (67.1)	% de campo antrópico (49.9)
	% de campo antrópico (21.6)	Dist. de vegetação (17.4)	Dist. de vegetação (12.4)
	% de área urbana (12.1)		Dist. de corpos d'água (11.8)
Depois	% de vegetação (59.6)	% de área urbana (37.4)	Dist. de campo antrópico (47.3)*
	Dist. de vegetação (10.3)*	Dist. de áreas úmidas (31.2)	Dist. de corpos d'água (17.9)*
	Dist. de corpos d'água (8.6)*	Dist. de campo antrópico (22.6)*	% de área urbana (14.5)

* variáveis com distribuições de frequência com padrões diferentes dos valores associados aos pontos de ocorrência de atropelamento (ver Material Suplementar).

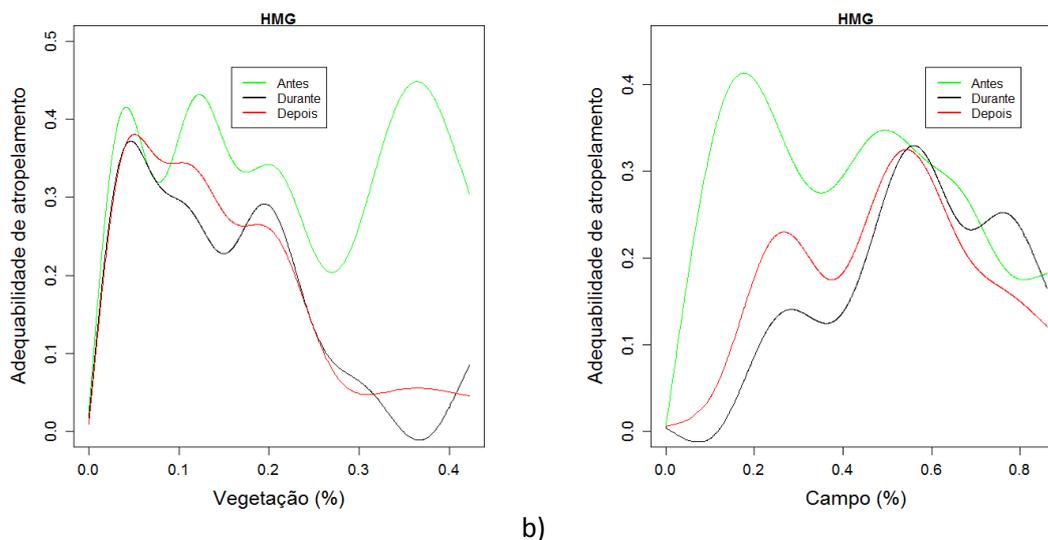


Figura 2: Curvas de resposta marginal da adequabilidade de atropelamento para HMG antes, durante e depois da duplicação em relação às variáveis ambientais: a) porcentagem de vegetação e b) porcentagem de campos antrópicos.

Os modelos para LMG tiveram três variáveis que contribuíram com mais de 20% na predição. A distância de campos antrópicos contribuiu com 47,8 % antes, 67,1% durante e 22,6% depois da duplicação. A porcentagem de área urbana e a distância de

áreas úmidas contribuiriam com 37,4% e 31,2%, respectivamente (Tab. 2). A probabilidade de atropelamentos para os modelos de LMG nos três períodos diminui rapidamente com o aumento da distância dos campos antrópicos (Fig. 3a), e tende a diminuir com o aumento da proporção de área urbana (Fig. 3b).

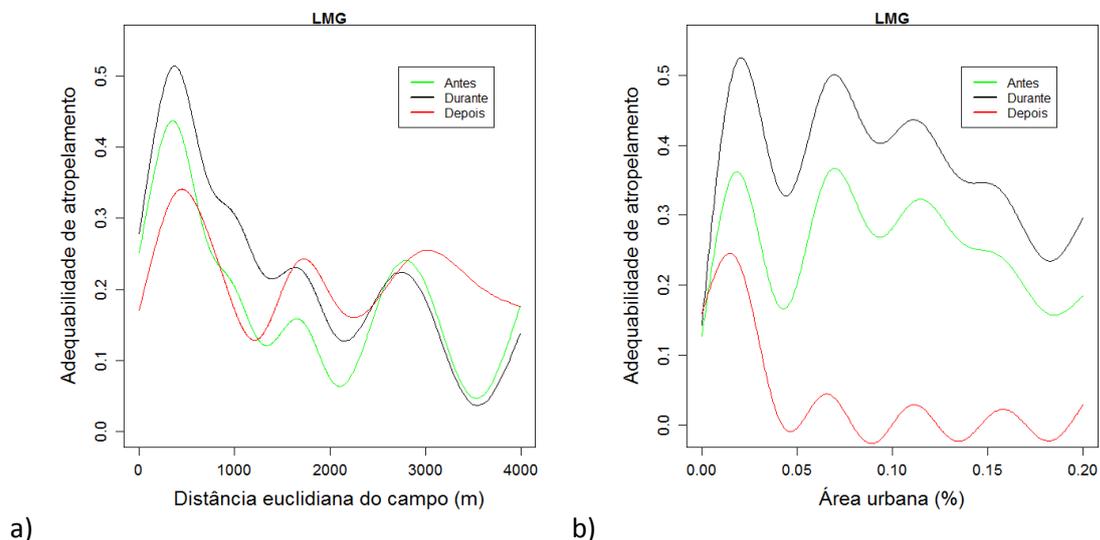


Figura 3: Curvas de resposta marginal da probabilidade de atropelamento para LMG para antes, durante e depois da duplicação em relação as variáveis ambientais preditivas: a) distância euclidiana do campo e b) porcentagem de área urbana.

Em relação aos modelos para o grupo funcional LMS, as variáveis que mais contribuíram foram a distância dos corpos d'água para antes da duplicação (40,5%), porcentagem de campos antrópicos para durante (49,9%) e distância dos campos antrópicos para antes (21,9%) e depois da duplicação (47,3%; Tab. 2).

A probabilidade de atropelamentos do grupo LMS diminui conforme aumenta a distância dos corpos d'água, antes, durante e depois da duplicação da rodovia. Em relação à porcentagem de campos antrópicos, a probabilidade permanece constante conforme aumenta a cobertura por campos na paisagem do entorno. Porém considerando a variável distância dos campos antrópicos, a probabilidade de atropelamento também decresce conforme aumenta a distância dos campos (Fig.4).

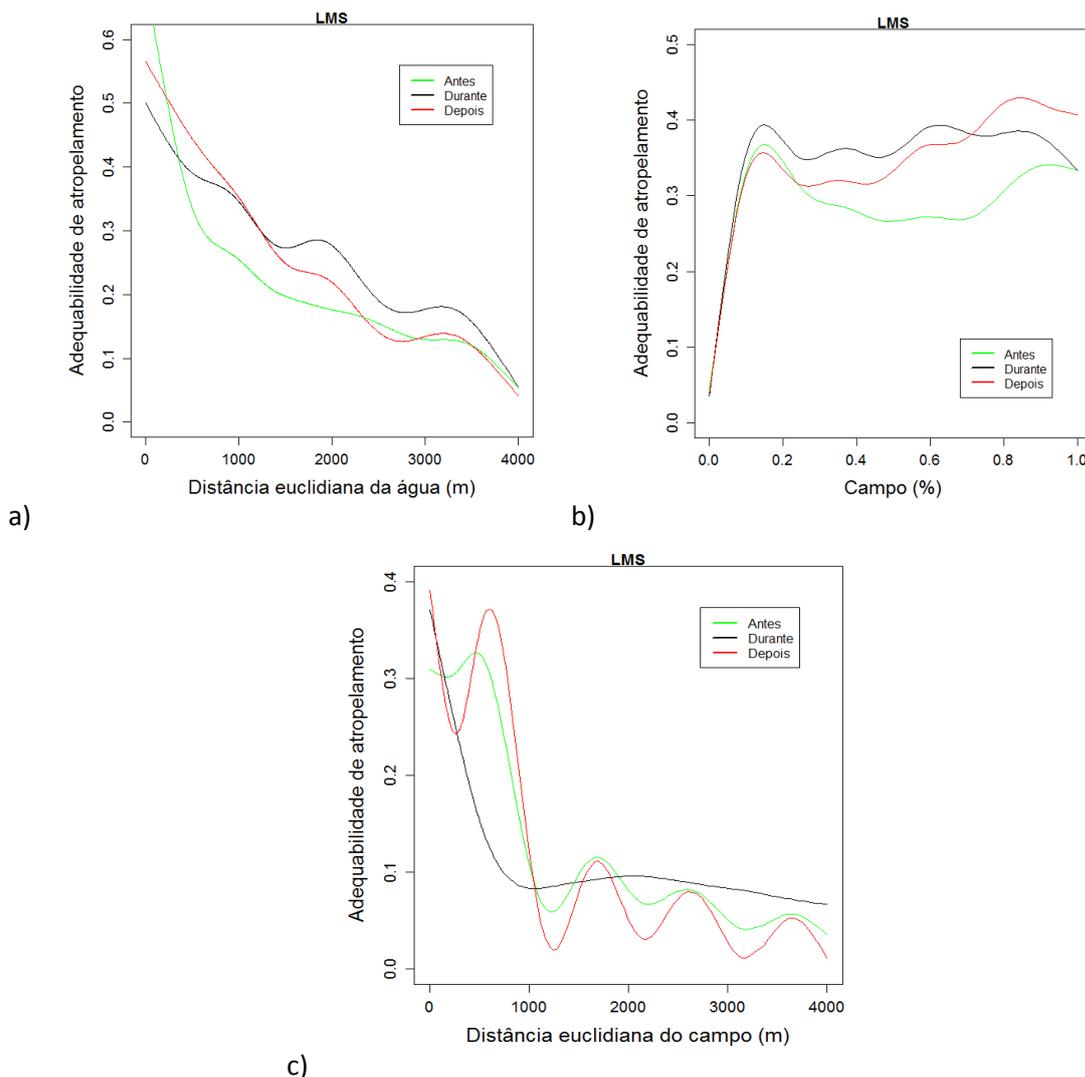


Figura 4: Curvas de resposta marginal da probabilidade de atropelamento para LMS para antes, durante e depois da duplicação em relação às variáveis ambientais preditivas: a) distância euclidiana da água, b) porcentagem de campo e c) distância euclidiana do campo.

Discussão

Observando as variáveis que mais contribuíram com os modelos para cada grupo funcional, notamos que houve diferença nas variáveis mais influentes para cada grupo funcional nos diferentes períodos. Dos nove modelos gerados, notamos que seis variáveis contribuíram em mais de 20% em diferentes modelos. Houve diferença entre os períodos de antes, durante e depois da duplicação das variáveis que mais contribuíram ou do valor de contribuição nos grupos funcionais. Para HMG a contribuição da porcentagem de

vegetação foi a maior nos três períodos, já para LMG a distancia do campo teve maior valor antes e a distancia do campo pesou mais depois da duplicação, e para LMS a distancia de corpos d'água contribuiu mais antes e distancia do campo depois. Estas diferenças devem refletir a mudança na distribuição dos atropelamentos entre os períodos da duplicação da rodovia.

Esperávamos uma maior probabilidade de atropelamento com o aumento da porcentagem de vegetação ou com a menor distancia da vegetação para todos os grupos, visto que a maioria das espécies encontradas utilizam as florestas para abrigo, porém, a vegetação influenciou mais os modelos de HMG de forma positiva. Aparentemente o maior número de presenças de *C. thous* no HMG deve ter influenciado os resultados do modelo. *C. thous* é uma espécie com notória capacidade de deslocamento na paisagem, mas dependente da floresta como abrigo (Cheida et al. 2011). Porém, no Cerrado paulista, Ciocheti (2014) gerou modelos de adequabilidade de hábitat para grupos funcionais e encontrou maior contribuição de variáveis ambientais antrópicas como presença de canavial e silvicultura para o grupo funcional HMG, que teve maior número de registros de atropelamentos para *C. thous*. Freitas et al. (no prelo) utilizando regressão logística também encontrou uma associação positiva entre atropelamentos de *C. thous* e áreas de silvicultura para o Cerrado paulista.

A maior contribuição da distancia da água para LMS antes da duplicação deve ser em função do maior número presenças de *P. cancrivorus*, espécie com forte associação a corpos d'água para alimentação e deslocamento (Cheida et al. 2011). No período depois da duplicação, o número de *P. cancrivorus* foi menor que das outras espécies com relação mais estreita com florestas, porém a distancia do campo contribuiu mais para o modelo.

De maneira geral, a variável distância dos corpos d'água e as variáveis distância e porcentagem de campo antrópico trouxeram mais respostas em relação a adequabilidade

do habitat, para diferentes grupos: uma associação positiva com a presença da água e uma associação aparentemente negativa com os campos.

Com o aumento da antropização da paisagem proporcionada pelo aumento da capacidade de tráfego da rodovia, a fragmentação e diminuição de habitats é uma consequência esperada (Laurence et al. 2009, Mello et al. 2012). Os ambientes naturais, como florestas e áreas úmidas no entorno da rodovia tendem a ser substituídos por campos de pastagem, lavouras e áreas urbanas com o passar do tempo. Partindo deste pressuposto e considerando as variáveis ambientais com maior contribuição para os atropelamentos depois da duplicação, as espécies com menor mobilidade e maior sensibilidade aos ambientes modificados serão menos atropeladas pois seus habitats estarão mais distantes da rodovia, aumentando o isolamento destas populações. Neste sentido, uma medida de mitigação que deve ser sugerida nos licenciamentos ambientais de rodovias é a compensação de áreas associadas as outras medidas mitigadoras. Áreas nos dois lados da rodovia deveriam ser transformadas em unidades de conservação para compensar o isolamento e manter a efetividade destas outras medidas, como por exemplo uma passagem de fauna. Uma vez que a paisagem do entorno do local onde esta foi instalada seja alterada, todo o investimento e função da estrutura deixará de ser útil.

O uso de modelos para determinar quais características da paisagem estão relacionadas a maior risco de atropelamentos da fauna já foram utilizados na ecologia de estrada para localizar as medidas de mitigação, porém são focados em espécies alvo (Gunson et al. 2011). A utilização de grupo de espécies que se relacionam de modo semelhante com o ambiente, com relação a percepção da paisagem, capacidade de deslocamento e sensibilidade a qualidade do ambiente, pode proporcionar uma boa resposta dos modelos em relação as características da paisagem com maior contribuição na distribuição destas espécies.

Considerando a necessidade de medidas mitigadoras que sejam multi-espécies, o modelo de adequabilidade de habitat para grupos funcionais pode beneficiar espécies comumente atropeladas até as raramente atropeladas se pertencerem ao mesmo grupo funcional.

Algumas vantagens do método utilizado é possibilidade de avaliar a contribuição das características da paisagem na probabilidade de atropelamentos e extrapolar estas probabilidades para outras regiões com paisagem semelhante. O método permite adaptações como a inclusão de outras espécies ou grupo funcionais e outras variáveis de resposta. Além disso o baixo custo de aquisição de dados e a capacidade de gerar material de comunicação eficiente, também são pontos a favor (Ciocheti 2014).

A ciência ecologia de estradas tem avançado nos últimos anos no país (Bager & Fontoura, 2012), porém também é crescente a demanda por respostas rápidas e confiáveis no planejamento de obras de infraestrutura de transportes. O aprimoramento dos protocolos para elaboração de diagnósticos e monitoramentos ambientais exigidos pelos órgãos de licenciamento ambiental para rodovias devem estar em constante aprimoramento, no sentido de produzir dados que embasem cada vez mais o planejamento e a tomada de decisão mais adequadas à conservação da biodiversidade.

Referências

- BAGER, A.; FONTOURA, V. 2012. Ecologia de estradas no Brasil: Contexto histórico e perspectivas futuras. In: BARGER, A. *Ecologia de Estradas: Tendências e perspectivas*. Lavras: UFLA. 2012. 314p.
- BRACK, P. 2009. Vegetação e paisagem do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: exuberância, raridade e ameaças à biodiversidade. Pp.32-55 In: N.M. Würdig, S.M.F. de Freitas (Org.). *Ecossistemas e biodiversidade do Litoral Norte do RS*. Porto Alegre: Nova Prova. 287p.
- CAMARA G.; SOUZA R.C.M.; FREITAS U.M.; GARRIDO J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403.
- CHEIDA, C. C.; NAKANO-OLIVEIRA, E. C.; FUSCO-COSTA, R.; ROCHA-MENDES, F.; QUADROS, J. 2011. Ordem Carnívora. In: REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, W. A.; LIMA, I. P. (Eds.). *Mamíferos do Brasil*. 2 ed. Londrina: N. R. Reis. 2011. p. 233-286.
- CIOCHETI, G. 2014. Spatial and temporal influences of road duplication on wildlife road kill using habitat suitability models. *Tese*. UFSCar: São Carlos.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. 2009. *Estimativa do Volume Médio Diário Anual – VMD*. In: <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/control-de-velocidade/vmda-2009.pdf>. (Acesso em 03 set 2014).
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. 2014. *Evolução da Malha Viária. Rede Rodoviária*. Total Geral. Disponível em <http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/evolucao-da-malha-rodoviaria/snv2014-total.pdf>
- DORNAS, R.A.P.; KINDEL, A.; BAGER, A.; FREITAS, S.R. 2012. Avaliação da mortalidade de vertebrados em rodovias no Brasil. In: BARGER, A. *Ecologia de Estradas: Tendências e perspectivas*. Lavras: UFLA. 2012. 314p.
- FERRAZ, K. M. P. M. B. ; BEISIEGEL, B. M. ; PAULA, R. C. ; SANA, D. A. ; CAMPOS, C. B.; OLIVEIRA, T. G. ; DESBIEZ, A. L. J. 2012. How species distribution models can improve cat conservation - jaguars in Brazil. *Cat News (Bougy)*, v. 1, p. 38-42
- FINDLAY, C. S.; J. BOURDAGES. 2000. Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. *Conservation Biology*, 14 (1): 86-94
- FINDLAY, C. S.; J. BOURDAGES. Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. *Conserv. Biol.* V. 14, n. 1, p. 86-94. 2000.
- FORMAN, R.T.T.; SPERLING, D.; BISSONETTE, J.A.; CLEVINGER, A.P.; CUTSHALL, C.D.; DALE, V.H.; FAHRIG, L.; FRANCE, R.; GOLDMAN, C.R.; HEANUE, K.; JONES, J.A.; SWANSON, F.J.; TURRENTINE, T.; WINTER, T.C. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington.
- FREITAS, S.R.; OLIVEIRA, A.N.; CIOCHETI, G.; VIEIRA, M.V.; MATOS, D.M.S. How landscape features influence road-kill of three species of mammals in the Brazilian savanna? *Oecologia Australis* (no prelo).
- GLISTA, D.J.; DEVAULT, T.L.; DEWOODY, J.A. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning*, 91: 1-7.
- GRASS Development Team, 2014. *Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software*, Version 6.4.4. Open Source Geospatial Foundation. <http://grass.osgeo.org>
- GUNSON, K.; MOUNTRAKIS, G.; QUACKENBUSH, L. J. 2011. Spatial wildlife-vehicle collision models: A review of current work and its application to transportation mitigation projects. *Journal of Environmental Management* 92:1074-1082.

- HUIJSER, M.P.; CLEVINGER, A.P. 2006. Habitat and corridor function of right-of-way. Pp. 233- 254. In: DAVENPORT, J.; DAVENPORT, J.L. (eds.). *The ecology of transportation: managing, mobility for the environment*. Dordrecht: Springer.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3): 259-263.
- LESBARRÈRES, D.; FAHRIG, L. 2012. Measures to reduce population fragmentation by roads: what has worked and how do we know? *Trends in Ecology and Evolution*, 27(7): 374-380.
- LYRA-JORGE, M. C.; RIBEIRO, M.C.; CIOCHETI, G.; TAMBOSI, L.R.; PIVELLO, V.R. 2010. Influence of multi-scale landscape structure on the occurrence of carnivorous mammals in a human-modified savanna, Brazil. *European Journal of Wildlife Research*, v. 56, n. 3, p. 359-368.
- MELLO, K.; ABESSA, D. M. S.; TOPPA, R. H. 2012. Influência de rodovias no processo de transformação da paisagem: O caso do sistema anchieta-imigrantes. In: BARGER, A. *Ecologia de Estradas: Tendências e perspectivas*. Lavras: UFLA. 2012. 314p.
- PAGLIA, A. P.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A.B; HERRMANN, G.; AGUIAR, L. M. S.; CHIARELLO, A. G.; LEITE, Y. L. R.; COSTA, L. P.; SICILIANO, S.; KIERULFF, M. C. M.; MENDES, S. L.; TAVARES, V. C.; MITTERMEIER, R. A.; PATTON, J. L. 2012. Lista anotada dos mamíferos do Brasil . 2ª ed. *Occasional Paper in Conservation Biology* 6, Arlington: Conservation International, 76 p.
- PETERSON, A. T. 2006. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity Informatics*, Lawrence, v. 3, p. 59-72.
- PHILLIPS, S. J., DUDIK, M.; SCHAPIRE, R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. Pages 655-662 In: *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*. ACM Press, New York.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2014. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.
- TEIXEIRA, F.Z.; COELHO, A.V.P.C.; ESPERANDIO, I.B. & KINDEL, A. 2013. Vertebrate road mortality estimates: Effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*, 157: 317–323.
- TROMBULAK, S.C.; FRISSELL, C.A. 2000. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation Biology*, 14: 18-30.

Material Suplementar

Tabela S1: Contribuição relativa de cada variável estimada por *Jackknife* e valor de AUC (\pm desvio padrão) para os modelos preditivos de atropelamentos na rodovia BR 101 Sul para mamíferos generalistas com alta mobilidade (HMG) nos períodos antes, durante e depois da duplicação da rodovia.

Variável	HMG		
	Antes	Durante	Depois
Distância de corpos d'água (m)	9.4	3.7	8.6
Porcentagem de área urbana	3.5	12.1	4.5
Distância de área urbana (m)	2.7	6.3	4.2
Porcentagem de áreas úmidas	13.3	5.9	3.6
Distância de áreas úmidas (m)	3.4	3.8	2.7
Porcentagem de campos antrópicos	1.9	21.6	4.2
Distância de campos antrópicos (m)	0.9	3.0	2.2
Porcentagem de vegetação	62.2	40.0	59.6
Distância de vegetação (m)	2.6	3.7	10.3
AUC (\pm desv.pad.)	0.914 (0.016)	0.954(0.009)	0.949(0.009)

Tabela S2: Contribuição relativa de cada variável estimada por *Jackknife* e valor de AUC (\pm desvio padrão) para os modelos preditivos de atropelamentos na rodovia BR 101 Sul para mamíferos generalistas com baixa mobilidade (LMG) nos períodos antes, durante e depois da duplicação da rodovia.

Variável	LMG		
	Antes	Durante	Depois
Distância de corpos d'água (m)	1.3	0.7	0.8
Porcentagem de área urbana	2.6	7.0	37.4
Distância de área urbana (m)	3.7	1.2	0.1
Porcentagem de áreas úmidas	11.9	2.0	5.7
Distância de áreas úmidas (m)	2.9	0.7	31.2
Porcentagem de campos antrópicos	9.5	1.5	1.3
Distância de campos antrópicos (m)	47.8	67.1	22.6
Porcentagem de vegetação	9.9	2.4	0.2
Distância de vegetação (m)	10.4	17.4	0.8
AUC (\pm desv.pad.)	0.923(0.02)	0.864(0.037)	0.927(0.025)

Tabela S3: Contribuição relativa de cada variável estimada por *Jackknife* e valor de AUC (\pm desvio padrão) para os modelos preditivos de atropelamentos na rodovia BR 101 Sul para mamíferos especialistas com baixa mobilidade (LMS) nos períodos antes, durante e depois da duplicação da rodovia.

Variável	LMS		
	antes	durante	depois
Distância de corpos d'água (m)	40.5	11.8	17.9
Porcentagem de área urbana	2.4	6.5	14.5
Distância de área urbana (m)	11.3	6.4	0.1
Porcentagem de áreas úmidas	2.1	5.5	0.6
Distância de áreas úmidas (m)	7.2	1.5	5.0
Porcentagem de campos antrópicos	6.8	49.9	7.0
Distância de campos antrópicos (m)	21.9	3.4	47.3
Porcentagem de vegetação	2.5	2.7	4.3
Distância de vegetação (m)	5.4	12.4	3.2
AUC (\pm desv.pad.)	0.948(0.014)	0.924(0.022)	0.904(0.036)

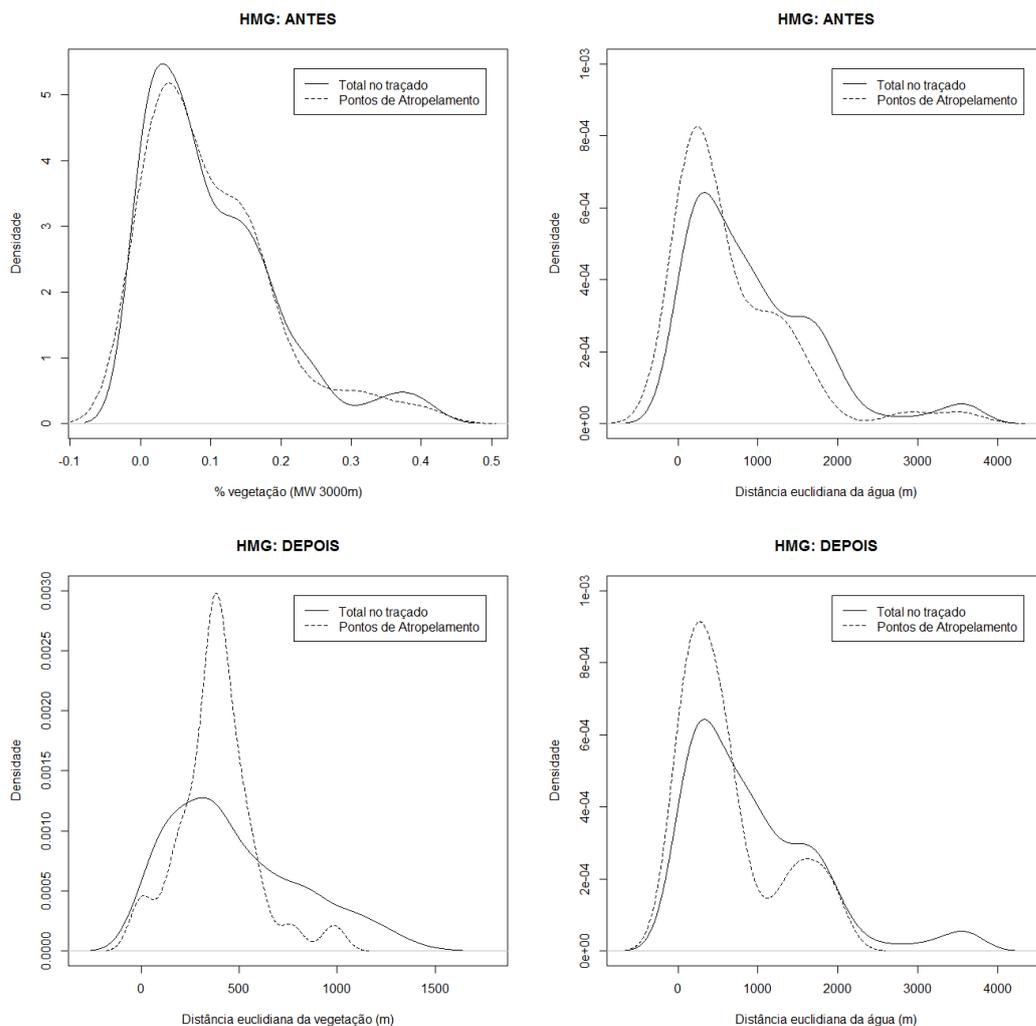


Figura S1: Densidade da distribuição da ocorrência das variáveis ao longo do trecho amostrado da BR 101 Sul (linha contínua) e dos pontos de atropelamento do grupo funcional generalistas de alta mobilidade (HMG) para os períodos de antes e depois da duplicação.

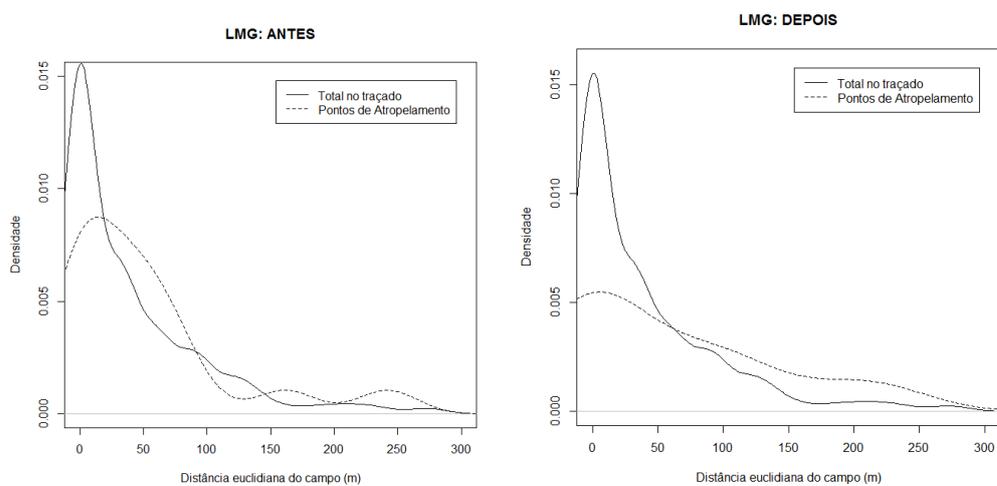


Figura S2: Densidade da distribuição da ocorrência das variáveis ao longo do trecho amostrado da BR 101 Sul (linha contínua) e dos pontos de atropelamento do grupo funcional generalistas de baixa mobilidade (LMG) para os períodos de antes e depois da duplicação.

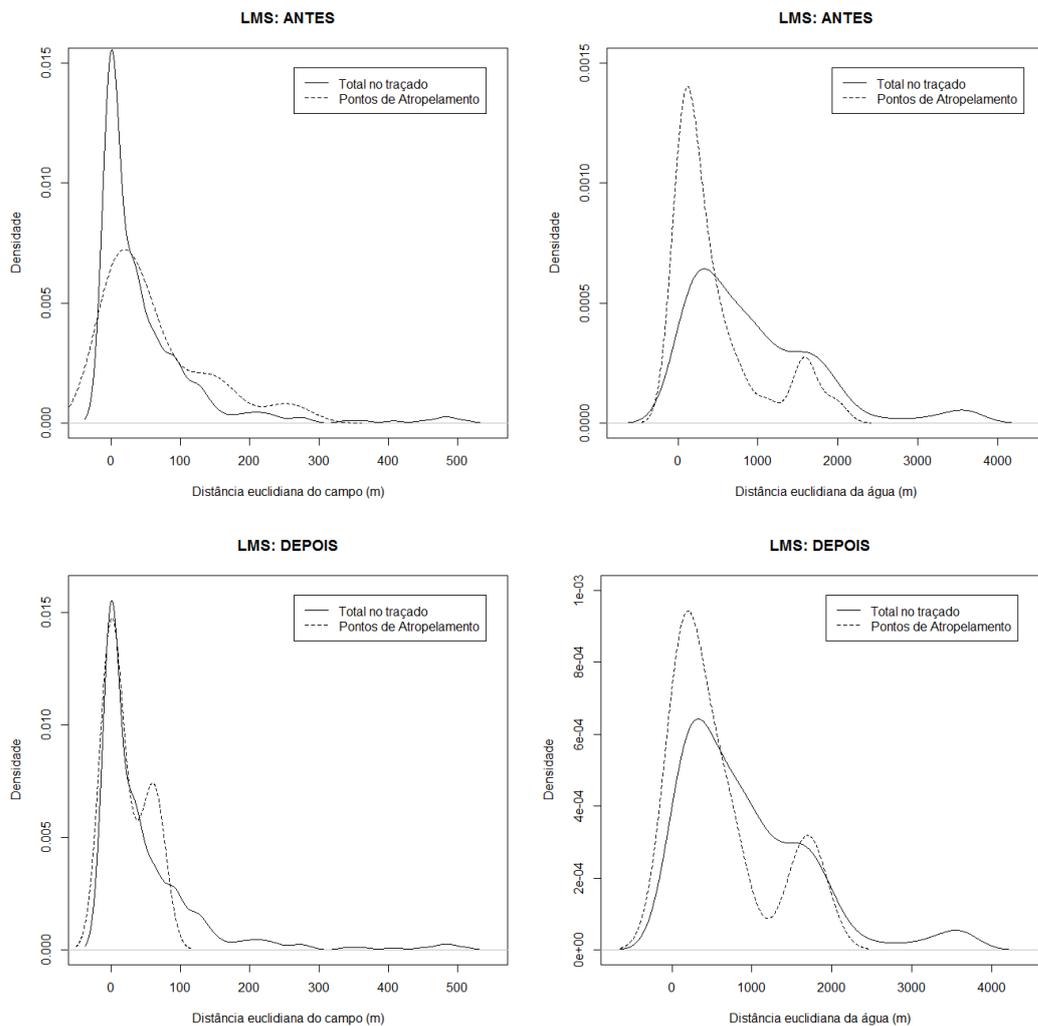


Figura S3: Densidade da distribuição da ocorrência das variáveis distância euclidiana do campo e da água ao longo do trecho amostrado da BR 101 Sul (linha contínua) e dos pontos de atropelamento do grupo funcional sensíveis de baixa mobilidade (LMS) para os períodos de antes e depois da duplicação.

Capítulo 3: *Hotspots* de atropelamento e modelos de adequabilidade de habitat como métodos complementares para avaliar locais de mitigação em rodovias.

Sidnei S. Dornelles^{1,4}, *John Wesley Ribeiro*², *Julia Camara de Assis*², *Milton Cezar Ribeiro*², *Giordano Ciochetti*², *Andreas Kindel*³ & *José S. R. Pires*⁴.

¹ Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE. Departamento de Ciências Biológicas. Joinville, SC.

² Universidade Estadual Paulista – UNESP. Departamento de Ecologia - Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação. Campus Rio Claro – SP.

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Departamento de Ecologia. Porto Alegre, RS.

⁴ Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. São Carlos, SP.

Resumo

A magnitude dos impactos das rodovias sobre a fauna gerou a necessidade de medidas mitigadoras, como a instalação de passagens de fauna, que para serem eficientes dependem da correta localização na rodovia. Os resultados obtidos pela abordagem dos *hotspots* da estatística de K de Ripley foram comparados com modelos de adequabilidade de habitat (MAH) para avaliar a localização de mitigação na rodovia BR 101 Sul. Houveram *hotspots* coincidentes com os locais de maior probabilidade de atropelamentos. Os dois métodos utilizados em conjunto podem propiciar uma resposta mais robusta para o melhor local de instalação de uma estrutura de mitigação.

Palavras-chave: atropelamentos, modelos preditivos, mitigação.

Abstract

The magnitude of the impacts of roads on wildlife has generated the need for mitigation measures, such as installing wildlife crossings, which to be effective depend of correct location on the highway. The results obtained by the approach of K Ripley statistic hotspots, were compared with habitat suitability models (HSM) to assess the location of mitigation on the BR 101 South. There were hotspots coincide with those most probability

of roadkill. The two methods used together can provide a more robust response to the best place to install a mitigation structure.

Keywords: roadkill, predictive models, mitigation.

Introdução

Devido a magnitude dos impactos das rodovias sobre a fauna, muitas medidas mitigadoras têm sido propostas e executadas (Forman et al. 2003), como a instalação de passagens de fauna sob e sobre as rodovias, cercas e redutores de velocidade, entre outros (Iuell et al. 2003). Porém o quão efetivas estas medidas são em diminuir os problemas que as rodovias causam a fauna, ainda carecem de respostas mais assertivas (van der Grift et al. 2013). O sucesso da mitigação de mortalidade depende da correta localização das medidas mitigadoras na rodovia (Clevenger et al. 2003).

Monitoramentos de longa duração dos impactos causados por rodovias sobre a fauna são recentes no Brasil e estão centrados principalmente na mortalidade associada as rodovias (Dornas et al. 2012). Estudos de longa duração não são frequentes, como também não são, monitoramentos que acompanham o antes e o depois do aumento da capacidade de tráfego de uma rodovia (van der Ree et al. 2007; Glista et al. 2009).

O objetivo deste trabalho foi comparar os resultados obtidos pela abordagem dos *hotspots* da estatística de K de Ripley com a geração de modelos de adequabilidade de habitat na avaliação de locais para mitigação de atropelamentos na rodovia BR 101 Sul.

Métodos

A área de estudo corresponde a 97,3 km da BR101 no sul do Brasil, entre os municípios de Torres (29°17'58.69"S, 49°46'12.28"O) a Osório (29°53'37.86"S, 50°17'4.02"O) no estado do Rio Grande do Sul (RS).

Os dados de mamíferos de médio e grande porte atropelados foram coletados entre janeiro de 2003 a janeiro de 2004, abril de 2005 e janeiro de 2008 e entre abril de 2011 a abril de 2013. As contagens de animais atropelados utilizaram o mesmo método: um veículo à baixa velocidade (40 a 60 km/h) com a presença de dois observadores, sem a

ocorrência de chuvas intensas, registro em GPS dos locais que as carcaças foram encontradas e identificação ao menor nível taxonômico possível.

Estes dados foram utilizados para identificar os *hotspots* de atropelamentos para antes e depois da duplicação da rodovia apresentados no capítulo 1, e para gerar os modelos de adequabilidade de habitat apresentados no capítulo 2. Com estes resultados montamos gráficos para comparação visual das duas análises; nestes gráficos foram plotados o modelo de adequabilidade (probabilidade) de atropelamentos no eixo Y e coordenadas em UTM da rodovia no eixo x e sobrepostos os *hotspots* identificados para antes e depois da duplicação. Nos gráficos para depois da duplicação, também foram sobrepostas as localizações das passagens de fauna instaladas na rodovia durante a duplicação.

Como na identificação dos *hotspots* no capítulo 1 não foi considerada a separação dos mamíferos em grupos funcionais, executamos as mesmas análises, feitas no capítulo 1, para identificar os *hotspots* agora considerando os grupos funcionais HMG (Generalista com Alta Mobilidade), LMG (Generalista com Baixa Mobilidade) e LMS (Especialista com Baixa Mobilidade), seguindo o capítulo 2. Estes resultados também foram utilizados para gerar os gráficos de comparação descritos acima.

Resultados e Discussão

Não foi possível identificar os *hotspots* para os grupos funcionais LMG e LMS, pois as análises de agregações dos atropelamentos considerando antes e depois da duplicação utilizando a estatística K de Ripley não apresentaram agregação na escala de 100 m, como proposto no capítulo 1. Somente para os atropelamentos de HMG para antes e depois foram observadas agregações no raio em questão, permitindo a execução da

análise de hotspots. No total foram identificados quatro *hotspots* para antes e quatro *hotspots* para depois da duplicação.

Os *hotspots* identificados considerando o grupo funcional HMG para antes e depois da duplicação coincidem espacialmente com os *hotspots* identificados para todos atropelamentos de antes e de depois da duplicação sem considerar o grupos funcionais (Fig. 1). A única diferença é o menor número de *hotspots* para o HMG, diferença que é resultado do menor número de atropelamentos utilizados na análise (antes=47, depois=32) quando comparado ao total de atropelamentos por período (antes=92, depois=49). Este resultado permitiu inferir que a comparação visual entre os modelos de adequabilidade de atropelamentos gerados para os grupos funcionais e os *hotspots* identificados para o total de atropelamentos por período, pode ser realizado com pouco prejuízo de informação.

Na Figura 1a, podemos observar que os 10 *hotspots* coincidem com os locais de maior probabilidade (adequabilidade) de atropelamentos para o grupo HMG antes da duplicação e que para depois da duplicação, apenas um *hotspot*, dos cinco plotados, está localizado numa região de menor probabilidade de atropelamento. Na Figura 1b, embora sejam quatro *hotspots* para antes e quatro para depois, o padrão se repete.

Na Figura 2a, dos 10 *hotspots* identificados, três não coincidem com probabilidades de atropelamento do grupo LMG maior que 0,2 para antes da duplicação. E para depois da duplicação, apenas um dos cinco *hotspot*, está localizado numa região de menor probabilidade de atropelamento.

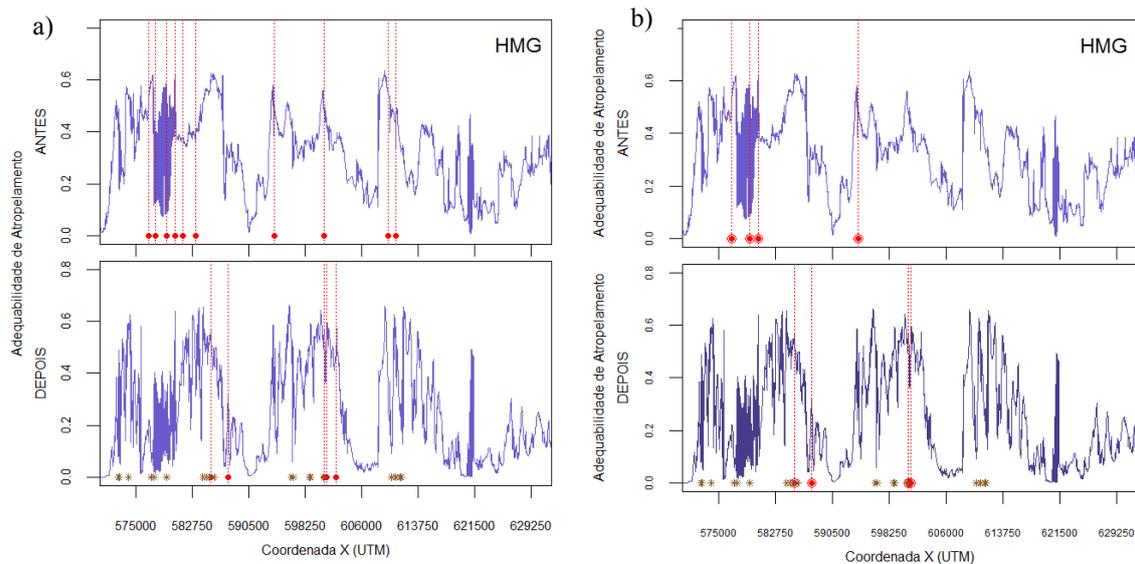


Figura 1: Adequabilidade de atropelamento (linha contínua) ao longo da rodovia BR101 Sul (eixo x) para o grupo funcional HMG (generalista alta mobilidade) e localização dos *hotspots* (pontos vermelhos) para antes e depois da duplicação. a) *hotspots* sem distinção de grupo funcional, b) *hotspots* do grupo HMG. Os asteriscos indicam a localização de passagens de fauna.

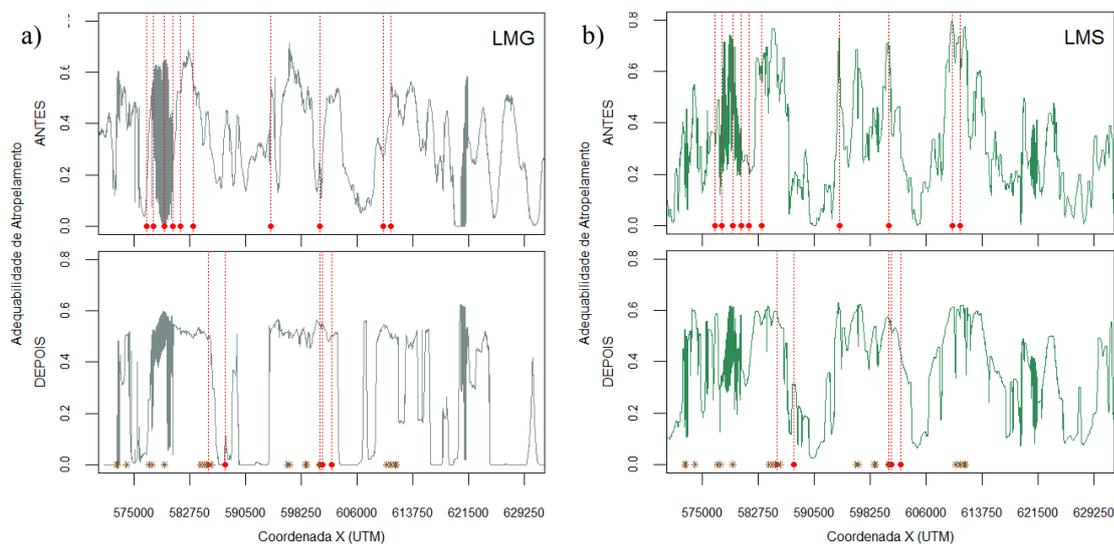


Figura 2: Adequabilidade de atropelamento (linha contínua) ao longo da rodovia BR101 Sul (eixo x) para o grupo funcional a) LMG (generalista alta mobilidade) e b) LMS (especialista baixa mobilidade) e localização dos *hotspots* (pontos vermelhos) para antes e depois da duplicação. Os asteriscos indicam a localização de passagens de fauna.

Em relação ao grupo LMS (Fig. 2b) observamos que um *hotspot* não coincide com os locais de maior probabilidade de atropelamento antes da duplicação e um também não coincide com depois da duplicação.

Observando as Figuras 1 e 2 podemos destacar que os *hotspots* em locais de menor probabilidade de atropelamento para antes da duplicação, são diferentes para cada grupo funcional. Porém o mesmo *hotspots* para depois da duplicação que não coincide com os locais de maior atropelamento é o mesmo para todos os grupos funcionais.

O critério para escolha dos locais das passagens de fauna instalada na rodovia BR 101 Sul foram empíricos, baseados na presença de possíveis corredores ecológicos em trechos de 50 km onde haviam mais atropelamentos (DNIT, com. pes.). Analisando as Figuras 1 e 2, existem locais de *hotspots* antes da duplicação que não aparecem depois da duplicação, próximos a locais onde foram instaladas as passagens de fauna. Não é possível afirmar que esta diferença é efeito da mitigação, pois não há um monitoramento de uso das passagens, podendo ser apenas um efeito da menor amostragem de atropelamentos depois da duplicação (vide Capítulo 1). Mas, observando a localização das passagens de fauna, percebemos que elas estão localizadas em trechos com maiores probabilidades para todos os três grupos funcionais.

Os gráficos comparativos sintetizam os resultados de duas abordagens que propomos considerar como complementares para localização de medidas mitigadoras. Os modelos de adequabilidade (probabilidade) de atropelamento para cada grupo funcional, gerados pelo programa MaxEnt (Phillips et al. 2004), prediz em toda a extensão da rodovia os locais que poderão ter mais atropelamentos, porém pode ser inviável logisticamente propor medidas de mitigação que cubram grandes extensões da rodovia. Já os *hotspots* gerados pelo programa Siriema (Coelho et al. 2011) identificam pontos na rodovia com agregações de atropelamentos maiores que esperadas ao acaso. Este

poderia ser um método que resolveria a localização das mitigações, porém, o resultado destas agregações depende do tamanho amostral utilizado na análise (Vide Capítulo 1).

Entre as vantagens do uso de modelos de máxima entropia gerados pelo programa Maxent estão a possibilidade de explicitar espacialmente os locais com maior adequabilidade de habitat para as espécies, que pode ser entendido neste caso, como maior probabilidade da espécie ser encontrada neste local e ser atropelada. O modelo também dá bons resultados de predição, mesmo com número de amostras pequenos. Porém, exige uma expertise com programas de SIG para gerar as variáveis que irão alimentar os modelos. Já a identificação de *hotspots* utilizando o programa Siriema é mais automática, necessitando seguir apenas os passos do programa, e o resultado obtido permite uma rápida assimilação pelos tomadores de decisão para executar medidas de mitigação. Por outro lado, exige uma boa amostragem em número de registros que permita uma análise consistente das agregações.

Uma forma de avaliar os melhores locais para instalação de mitigações na rodovia, seriam aqueles onde há sobreposição espacial dos locais com maior probabilidade de atropelamento com *hotspots*. Como exemplo, o *hotspot* para depois da duplicação que aparece nas Figuras 1 e 2 não coincidindo com locais de maior probabilidade de atropelamento, não deve ser considerado para instalação de uma medida de mitigação. A análise conjunta aumenta a chance de perceber algum viés em um dos métodos utilizados.

A utilização destes métodos poderia ser uma exigência dos órgãos ambientais para licenciamento de empreendimentos rodoviários.

Referências

- CLEVINGER, A.P.; CHRUSZCZ, B.; GUNSON, K.E. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109: 15-26.
- COELHO, A.V.P.; COELHO, I.P.; TEIXEIRA, F.Z.; KINDEL, A. 2011. *SIRIEMA. Spatial Evaluation of Road Mortality Software*. User's Guide V.1.1. UFRGS, Porto Alegre, Brazil. 23p. <http://www.ufrgs.br/biociencias/siriema>.
- FORMAN, R.T.T.; SPERLING, D.; BISSONETTE, J.A.; CLEVINGER, A.P.; CUTSHALL, C.D.; DALE, V.H.; FAHRIG, L.; FRANCE, R.; GOLDMAN, C.R.; HEANUE, K.; JONES, J.A.; SWANSON, F.J.; TURRENTINE, T.; WINTER, T.C. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington.
- GLISTA, D.J.; DEVAULT, T.L.; DEWOODY, J.A. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning*, 91: 1-7.
- IUELL, B.; BEKKER, G.J.; CUPERUS, R.; DUFEK, J.; FRY, G.; HICKS, C.; HLAVAC, V.; KELLER, V.; ROSELL, C.; SANGWINE, T.; TRØSLØV, N.; WANDALL, M.B. 2003. *Wildlife and traffic: a European handbook for identifying conflicts and designing solutions*. KNNV Publishers, Utrecht.
- PHILLIPS, S. J., DUDIK, M.; SCHAPIRE, R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. Pages 655-662 In: *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*. ACM Press, New York.
- Van der GRIFT E.A.; van der REE, R.; FAHRIG, L.; FINDLAY, S.; HOULAHAN, J.; JAEGER, J. A. G.; KLAR, N., MADRIÑAN, L.F.; OLSON, L. 2013. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation* 22:425–448.

Considerações Finais

No total registrou-se 21 taxóons de mamíferos atropelados, sendo o mais abundante o gênero *Didelphis* (n=721), seguido de *Cerdocyon thous* (n=108). A abundância de carcaças diminui entre o antes e o depois da duplicação (F=18,04 p<0,001).

Os *hotspots* não foram sobrepostos entre os períodos analisados, indicando que algum fator explicativo mudou ao longo da obra. As possíveis explicações que precisam ser exploradas noutros estudos, são mudanças na paisagem, o aumento da evitação da via duplicada em relação a simples e as medidas mitigadoras implantadas, como passagens de fauna subterrâneas e cercas.

Observando as variáveis que mais contribuíram com os modelos para cada grupo funcional, notamos que houve diferença nas variáveis mais influentes para cada grupo funcional nos diferentes períodos. Dos nove modelos gerados, notamos que seis variáveis contribuíram em mais de 20% em diferentes modelos. Houve diferença entre os períodos de antes, durante e depois da duplicação das variáveis que mais contribuíram ou do valor de contribuição nos grupos funcionais. Estas diferenças podem ser reflexo da mudança na distribuição dos atropelamentos entre os períodos da duplicação da rodovia.

As duas abordagens demonstraram que houveram mudanças na magnitude e distribuição dos atropelamentos no período antes em relação ao período após a duplicação. Portanto uma rodovia com dois pavimentos funciona diferente de uma rodovia de quatro pavimentos em relação a como a mastofauna reage em termos de movimentação e relação com paisagem.

A utilização dos métodos de *hotspots* da estatística K de Ripley em conjunto com os modelos de adequabilidade de habitat para avaliar a localização de mitigação na

rodovia BR 101 Sul, pode responder de forma mais robusta qual o melhor local de instalação de uma estrutura de mitigação.

O aprimoramento dos protocolos para elaboração de diagnósticos e monitoramentos ambientais exigidos pelos órgãos de licenciamento ambiental para rodovias devem estar em constante aprimoramento, no sentido de produzir dados que embasem cada vez mais e melhor o planejamento e a tomada de decisão mais adequadas à conservação da biodiversidade nas rodovias.