

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos
Naturais

ADRIANA NEPOMUCENO DE OLIVEIRA

**Padrões espacial e temporal do
atropelamento de mamíferos em uma
rodovia no Cerrado brasileiro**

São Carlos

2011

ADRIANA NEPOMUCENO DE OLIVEIRA

Padrões espacial e temporal do atropelamento de mamíferos em uma rodovia no Cerrado brasileiro.

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção de título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientadora: Prof. Dra. Simone Rodrigues de Freitas
Co-orientadora: Prof. Dra. Dalva Maria da Silva Matos

**São Carlos
2011**

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

O48pe

Oliveira, Adriana Nepomuceno de.

Padrões espacial e temporal do atropelamento de mamíferos em uma rodovia no cerrado brasileiro / Adriana Nepomuceno de Oliveira. -- São Carlos : UFSCar, 2011.
51 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2011.

1. Ecologia. 2. Ecologia de estradas. 3. Colisão animal-veículo. 4. Mamífero. I. Título.

CDD: 574.5 (20ª)

Adriana Nepomuceno de Oliveira

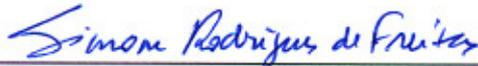
Padrões espacial e temporal do atropelamento de mamíferos em uma rodovia no Cerrado brasileiro

Dissertação apresentada à Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em 24 de março de 2011

BANCA EXAMINADORA

Presidente



Profa. Dra. Simone Rodrigues de Freitas
(Orientadora)

1º Examinador



Prof. Dr. Carlos Roberto Sousa e Silva
PPGERN/UFSCar

2º Examinador



Prof. Dr. Alex Bager
UFLA/Lavras-MG

Agradecimentos

À Profa. Dra. Simone Rodrigues de Freitas, minha orientadora, que me ajudou muito nesse processo todo e por ter tido tanta paciência comigo. Obrigada por tudo.

À Profa. Dra. Dalva Maria da Silva Matos, minha co-orientadora e amiga, que me ajudou em todos os momentos dessa jornada.

Ao Ms. Giordano Ciocheti, pela confiança nesses anos todos e por toda a ajuda que sempre me deu. Se cheguei até aqui, devo muito disso a você.

Ao Prof. Dr. Manoel Martins Dias Filho, por ter aberto as portas da UFSCar para mim, e por ter sido sempre tão gentil e solícito.

Obrigada ao CNPq, pela bolsa de mestrado.

À Fernanda do Passo Ramalho e Talita Sampaio, grandes amigas e companheiras em São Carlos, que me ajudaram a focar no que era preciso.

A todos do Departamento de Botânica do PPG-ERN, que sempre me ajudaram e me receberam tão bem em seu laboratório.

Aos meus pais, Caio e Celia, pela confiança depositada em mim, por acreditarem e me apoiarem nas minhas escolhas, mesmo que muitas vezes não concordássemos. Vocês são fundamentais. Amo vocês!

Aos meus irmãos (Ná e Gá) por tudo, sempre! Amo vocês!

Ao meu namorado, Pedro, pelos conselhos, broncas e ajudas. Por todo apoio, e por acreditar em mim.

E claro, aos meus amigos de sempre (Nati, Camarão, Le, Tefão, Masca, Omar, Marcão, Li, Van), pela torcida e por aguentarem esses dois anos de reclamações e histórias sobre o meu mestrado.

E ao Mau, John e Carol, especial agradecimento, por terem sempre me aguentado e serem sempre tão amigos. Obrigada pelas tarde e noites de conversas e desabafos.

Sumário

Agradecimentos	4
Sumário	5
Resumo.....	7
Abstract	8
INTRODUÇÃO GERAL – ATROPELAMENTO DE MAMÍFEROS EM RODOVIAS.	9
1.1. Características biológicas associadas ao risco de atropelamento	11
1.2. Características das estradas associadas ao risco de atropelamento	13
1.3. Agregação dos atropelamentos e mitigações	15
Referências Bibliográficas	17
CAPÍTULO 1	21
PADRÕES ESPACIAL E TEMPORAL DO ATROPELAMENTO DE MAMÍFEROS EM UMA RODOVIA NO CERRADO BRASILEIRO	21
1. Introdução.....	22
2. Objetivos	25
2.1. Objetivo geral.....	25
2.2. Objetivos específicos.....	25
3. Material e Métodos.....	26
3.1. Área de estudo	26
3.2. Coleta dos dados	29
3.3. Análise dos dados.....	30
3.3.1. Padrões espaciais nas ocorrências de atropelamentos	30
3.3.2. Padrões temporais nas ocorrências de atropelamentos	35
4. Resultados.....	35
4.1.1. Padrões espaciais das ocorrências	37

4.1.1.1.	Ocorrências por km ou trechos de 5 km na rodovia	37
4.1.1.2.	Características espaciais no entorno das ocorrências para três espécies selecionadas	38
4.1.2.	Padrões temporais nas ocorrências de atropelamentos	39
5.	Discussão	41
6.	Conclusão	45
7.	Referências bibliográficas	46

Resumo

Esta dissertação está dividida em uma introdução geral sobre uma das questões da área de Ecologia de Estradas mais impactantes para o público em geral: o atropelamento de fauna silvestre em rodovias, e posteriormente em um capítulo que visa investigar se há e quais são os padrões espaciais e temporais dos atropelamentos de mamíferos de médio e grande porte na rodovia SP-225, na região nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. A SP-225 está localizada em uma região de Cerrado, Floresta Semidecidual e Mata Ripária. Os dados foram coletados de Janeiro de 2006 a Fevereiro de 2008, antes da duplicação da rodovia. Foram registrados 114 atropelamentos de mamíferos de médio e grande porte nesta rodovia. As duas espécies mais atropeladas foram o *Cerdocyon thous* e a *Lepus europaeus*, com 32 e 22 registros cada uma. Foi analisado se existiam agregações espaciais dos atropelamentos em cada quilometro da rodovia entre os Km 75 e 235, sendo registrado um alto número de atropelamentos de mamíferos no Km 146, com 7 ocorrências, seguidos pelo Km 115 e pelo Km 125, com 5 e 4 ocorrências respectivamente. Quando a estrada foi dividida em trechos de cinco quilômetros, os locais que apresentaram os maiores índices de acidentes foram o trecho Km 145-150, seguido pelo trecho Km 125-130, com 15 e 10 registros respectivamente. Nestes trechos, indica-se a aplicação de medidas mitigadoras. O padrão temporal de distribuição dos atropelamentos não foi clara, exceto no ano de 2006, quando a estação chuvosa apresentou um índice maior de atropelamentos do que a estação seca. Usando três espécies como modelo, analisou-se a relação entre a paisagem ao redor da estrada e a frequência de atropelamentos. Foram escolhidas as duas espécies mais atropeladas (*Cerdocyon thous* e *Lepus europaeus*) e uma considerada vulnerável à extinção (*Chrysocyon brachyurus*). Os atropelamentos de *C. thous* foram associados a áreas de reflorestamento e áreas menos urbanas, enquanto que os de *L. europaeus* foram a áreas de plantação (reflorestamento e laranjal) e a áreas com menos vegetação nativa. As áreas urbanas e com menos pastos foram aquelas associadas às ocorrências de atropelamento de *C. brachyurus*.

Palavras-chave: mamíferos, rodovias, colisões animal-veículo, trópicos, paisagem.

Abstract

This thesis is divided into a general introduction on the issue of roads ecology and the main factors that lead to the general public and the animals roadkills, followed by a chapter that investigates if there is spatial and seasonal patterns of medium and big mammals roadkills in a road (SP-225) in northeast of São Paulo State, Brazil. The road is located in a region of Cerrado, semideciduous forest and riparian vegetation. Data were collected during the years 2006, 2007 until February 2008. 114 roadkills were recorded for medium and large mammals.-vehicle collision were recorded,. The two species most hit were *Cerdocyon thous* and *Lepus europaeus*, with 32 and 22 records respectively .It was analyzed if there was spatial clustering of roadkills per kilometer between Km 75-235 and noticed the Km 146- is the one that has the highest number of roadkills, with 7 records, followed by Km 115 and Km 125, with 5 and 4 records respectively. When road is divided into sections of 5 km each, the passages that had higher indices of collision were Km 145-150, followed by passage of Km 125-130, with 15 and 10 roadkills respectively. This analysis showed that the most impacted areas have been the most probable for roadkills. In these sections, it is indicate the application of mitigation measures. The temporal patterns of roadkills distribution were not clear, except in 2006, when the rainy season showed a higher rate of roadkills than dry season. Using three species as a model, it was analyzed the relationship between the landscape around the Road and roadkills frequency. Three species were chosen, the two most frequently hit (*Cerdocyon thous* and *Lepus europaeus*) and one threatened (*Chrysocyon brachyurus*). The roadkills of *C. thous* were associated to areas of reforestation and less urban, while the roadkills of *L. europaeus* were in areas of planting (reforestation and orange's crop). The urban areas and with less pasture were associated to the *C. brachyurus* roadkills.

Keywords: mammals, road, animal-vehicle collision, tropics, landscape.

**INTRODUÇÃO GERAL – ATROPELAMENTO DE MAMÍFEROS
EM RODOVIAS.**

A construção das estradas afeta imediatamente o meio ambiente, devido à necessidade da remoção da vegetação nativa para a sua construção, levando a alterações no solo, nos corpos d'água, na flora, e na fauna (Seiler 2001; Forman *et al.* 2003; Benítez-López *et al.* 2010). A construção das estradas ocasiona uma perda de biodiversidade, devido às mudanças na temperatura, umidade do ar, vento, intensidade luminosa, mudança na cobertura e uso da terra (incluindo fragmentação), e desenvolvimento e distribuição da rede viária (Seiler 2001; Benítez-López *et al.* 2010).

Infraestruturas lineares como as estradas podem representar: 1) barreiras para o deslocamento de animais, acarretando a redução do fluxo genético entre populações; 2) bordas que modificam o habitat de diversas espécies; e 3) risco de morte por colisões com veículos, mortes estas que podem ser significativas para as populações (Bennett 1991; Seiler 2001; Taylor e Goldingay 2004, Alexander *et al.* 2005; Ford e Fahrig 2007; Smith-Patten e Patten 2008; Graham *et al.* 2010; Laurance *et al.* 2010). Milhares de mamíferos são atropelados anualmente em colisões com veículos, sendo uma questão relevante para conservacionistas e gestores ambientais (Smith-Patten e Patten 2008), até mesmo maior do que a caça (Forman e Alexander 1998).

Os impactos das estradas nas populações animais tem sido uma preocupação e vem sendo estudados desde a década de 1920 (Stoner 1925; Sprague 1939; Knobloch 1939). Segundo Smith-Patten e Patten (2008), os primeiros estudos mostravam apenas a preocupação de um maior impacto sobre a fauna nativa, posteriormente apareceram estudos mais sistemáticos para as contagens de mortalidade, e, a partir da década de 1940, começaram as relações entre os atropelamentos com os fatores biológicos de cada espécie. Atualmente, a maior parte dos estudos busca padrões de distribuição dos

atropelamentos determinados por fatores espaciais ou temporais, aumentando o poder de generalização dos modelos (Taylor e Goldingay 2004; Ramp *et al.* 2005; Ford e Fahrig 2007).

Muitas hipóteses sugerem que as variações na taxa de atropelamentos podem ser explicadas por características biológicas, como o sexo, idade, respostas de evitação da estrada, dispersão, densidade populacional e horário de atividade (Jaeger *et al.* 2005; Ford e Fahrig 2007). Existem também hipóteses que relacionam a taxa de atropelamentos com as características da paisagem entorno da estrada, e características da própria estrada como desenho, velocidade permitida, visibilidade e tráfego (Trombulak e Frissell 2000; Clevenger *et al.* 2003; Goosem 2007; Coelho *et al.* 2008).

1.1. Características biológicas associadas ao risco de atropelamento

Espécies raras, mamíferos de grande porte, aves e aquelas que requerem grandes áreas de vida e apresentam baixas taxas de reprodução são normalmente mais vulneráveis às estradas (Bennett e Robinson 2000). Tanto a locomoção, quanto a ecologia e comportamento dos animais determinam a sua vulnerabilidade. Fahrig e Rytwinski (2009) e Laurance *et al.* (2009) citam diversos trabalhos que concordam que os animais mais susceptíveis são aqueles que se movem devagar, como os anfíbios, répteis e pequenos mamíferos; animais arbóreos, que ocasionalmente atravessam terrenos abertos, como preguiças e primatas. Assim como algumas aves, morcegos e insetos, além de espécies com pouca visão, como tamanduás, e ainda aqueles que apresentam respostas lentas ou de “congelamento” com a aproximação de carros, como os tatus e alguns anfíbios.

Segundo Frey e Conover (2006), muitos dos mesopredadores ocorrem preferencialmente perto de estradas, diques ou outros lugares lineares na paisagem, especialmente quando cercada de áreas nativas remanescentes. Forman e Alexander (1998) dizem que muitos vertebrados são atraídos para as rodovias pela disponibilidade e variedade de recursos alimentares, incluindo grãos, vegetação na borda das estradas, insetos e animais exotérmicos, além de ser o lugar ideal para animais carniceiros, especialmente aqueles que se alimentam de invertebrados, répteis, pequenos mamíferos e pequenas aves (Smith-Patten e Patten 2008).

Segundo Forman *et al.* (2003), Coelho *et al.* (2008) e Grilo *et al.* (2009), os atropelamentos de fauna silvestre normalmente se concentram em uma ou poucas espécies, geralmente generalistas, localmente abundantes, com grande capacidade de deslocamento e/ou aquelas que são atraídas pelos recursos ou características ambientais favoráveis nas estradas. Grilo *et al.* (2009) afirmam que existem três aspectos a serem considerados: (1) normalmente os adultos das espécies mais comuns são os mais atropelados; (2) o maior número de ocorrências de morte por atropelamento está relacionado aos períodos de maior mobilidade desses animais, dispersão e época de reprodução; (3) características da estrada, áreas urbanas e habitats tem uma relação próxima e variável com os atropelamentos.

Ford e Fahrig (2007) falam que a dieta e o tamanho corporal têm relação importante com os atropelamentos de fauna silvestre. Eles afirmaram que como previsto, animais onívoros e herbívoros tem maiores índices de atropelamentos que os carnívoros, pois animais herbívoros apresentam normalmente maiores densidades populacionais que os onívoros e que ambos apresentam maior densidade populacional que os carnívoros. Em relação ao tamanho corporal, Cáceres *et al.* (2010) afirmam que

na Mata Atlântica é mais comum atropelamentos de espécies comuns e de pequeno porte, podendo refletir extinções locais de mamíferos de grande porte.

Estimativas indicam altos valores para as taxas de atropelamento anuais: 159 mil mamíferos e 653 mil pássaros na Holanda; sete milhões de pássaros na Bulgária; 5 milhões de sapos e répteis na Austrália e um milhão de vertebrados nos Estados Unidos (Forman e Alexander 1998; van der Zande 1980) e 2.700 no Cerrado central brasileiro, neste caso não incluindo dados sobre pequenos mamíferos (Vieira 1996). Desta forma, identificar os fatores-chave relacionados aos atropelamentos de fauna nas estradas, através da avaliação de padrões biológicos de cada espécie, fornece uma ferramenta útil para os gestores das estradas em relação à segurança, e também para gestores ambientais em relação a estratégias de conservação para a fauna silvestre (Grilo *et al.* 2009).

1.2. Características das estradas associadas ao risco de atropelamento

Muitas podem ser as características que influenciam nas taxas de atropelamento de fauna silvestre em rodovias, aspectos biológicos sem dúvida devem ser considerados, mas as características das rodovias podem ser relevantes. Além dos fatores biológicos que influenciam nos atropelamentos de fauna silvestre nas rodovias, tais como período de atividade, abundância, capacidade de deslocamento, alimentação, hábitos, épocas de reprodução, entre outros, fatores relativos às características da paisagem entorno e da própria rodovia podem ser importantes para explicar os padrões de distribuição das ocorrências de atropelamento.

De acordo com Laurance *et al.* (2009), o desenho da estrada, a velocidade máxima permitida, a visibilidade, a presença de vegetação entre as pistas, as características da paisagem entorno da rodovia, todos esses fatores podem determinar a taxa de atropelamentos de fauna silvestre em estradas. Segundo Forman e Alexander (1998), o risco de atropelamentos é maior em estradas de alta velocidade, e segundo dados estatísticos a velocidade que os carros viajam está aumentando mais rapidamente do que a densidade das estradas nos Estados Unidos, por isso Rodrigues *et al.* (2002) acreditam que os atropelamentos de vertebrados geralmente ocorrem de forma acidental, devido ao excesso de velocidade.

Outra característica importante, segundo Fahrig e Rytwinski (2009), é a questão do volume de veículos que passam pelas rodovias todos os dias, pois tudo depende de como os animais respondem a esse tráfego. Segundo esses autores é importante conhecer as respostas comportamentais de cada espécie em relação às estradas e ao tráfego, para poder distinguir quais destes fatores são mais importantes. Cáceres *et al.* (2010) verificaram uma menor densidade de mamíferos em áreas com maior volume de veículos, que pode indicar o comportamento de evitar (*avoidance*, em inglês) as estradas, ou a perda de habitat nas margens das estradas levando a redução do tamanho das populações e extinção local de espécies. Portanto, é importante e necessário entender as implicações ecológicas da expansão da malha rodoviária para mitigar esses impactos sobre as populações e comunidades animais.

Só nos EUA existem mais de 6,2 milhões km de rodovias (1,2 km/km²) que são usados por mais de 200 milhões de carros (Forman e Alexander 1998). Na Nova Zelândia, a densidade de estradas principais é de 1,5 km/km², que são usadas por uma média entre 10000 e 50000 carros por dia, já na Austrália são 900000 km de rodovias,

para 18 milhões de pessoas (Forman e Alexander 1998). Nos EUA, a densidade de estradas é tão grande que em média é necessário andar menos de 500 metros até a estrada mais próxima. No Brasil são 1.765.278 km de estradas pavimentadas até o ano de 2007, com uma frota de 27,8 milhões de veículos (AETT 2008; Silva 2009).

Os impactos da fragmentação também podem influenciar muito nos índices de atropelamento, alguns estudos têm sido feitos para determinar esses impactos, principalmente em florestas tropicais de países em desenvolvimento, já que isso além de aumentar o acesso a áreas naturais, facilitando a caça, também causa outros problemas, como desmatamentos planejados e não planejados para a pecuária e agricultura (Goosem 2007). Apesar das estradas serem importantes para o desenvolvimento da economia dos países, isso causa impactos durante a construção, e suas operações, como perda de habitat e a alteração dos habitats, como o efeito de borda (Goosem 2007). Além disso, as estradas propiciam a entrada de espécies invasoras, que incluem sementes, principalmente de gramíneas e plantas com alto requerimento de luz, animais ferais, e outras espécies da flora e fauna exóticas.

1.3. Agregação dos atropelamentos e mitigações

Clevenger *et al.* (2003), Taylor e Goldingay (2004) e Coelho *et al.* (2008), confirmam em seus trabalhos que padrões de agregação espacial nos atropelamentos nas regiões estudadas e nos diferentes grupos taxonômicos podem indicar a existência de fatores que influenciam as distribuições destes atropelamentos, tais como variações no volume de tráfego, desenho da rodovia, velocidade máxima permitida, visibilidade, e estrutura da paisagem no entorno da rodovia, que influenciam a composição, abundância e a mobilidade da fauna.

Ramp *et al.* (2005) analisaram agregações espaciais na paisagem e trabalharam com modelagem preditiva demonstrando os locais mais prováveis para a ocorrência de atropelamentos das espécies. Com este estudo, eles concluíram que o uso de modelos preditivos apenas se aplica quando a distribuição dos atropelamentos não é aleatória ou homogeneamente distribuída pela rodovia, no entanto o uso desta ferramenta pode ser útil para descobrir os ‘hotspots’ da estrada, ou seja, onde, ao longo da rodovia, a espécie ou um grupo de espécies tem um maior número de ocorrências de atropelamentos.

Inúmeras medidas e estratégias de desenho podem ser usadas para limitar os impactos ambientais causados pelas rodovias. Segundo Laurance *et al.* (2009), isto recai em duas categorias principais: (1) esforços em escala local para reduzir o impacto de uma nova ou já existente estrada, e (2) trabalhos em escala regional para limitar a expansão para áreas ecologicamente sensíveis. Desta forma, as principais estratégias para diminuir a mortalidade de mamíferos em estradas seriam: 1) limitar a expansão de rodovias, 2) reduzir a entrada de espécies invasoras em áreas nativas, 3) avaliar corretamente os impactos das estradas, 4) desenvolver novas estratégias no desenho e planejamento das rodovias, e 5) avaliar agregações nos atropelamentos de fauna nas rodovias para a construção de medidas mitigadoras, tais como: redutores de velocidades e túneis ou pontes de passagem para fauna.

Goosem (2007) organizou idéias para diminuir os impactos causados pelas rodovias em quadro mostrado abaixo:

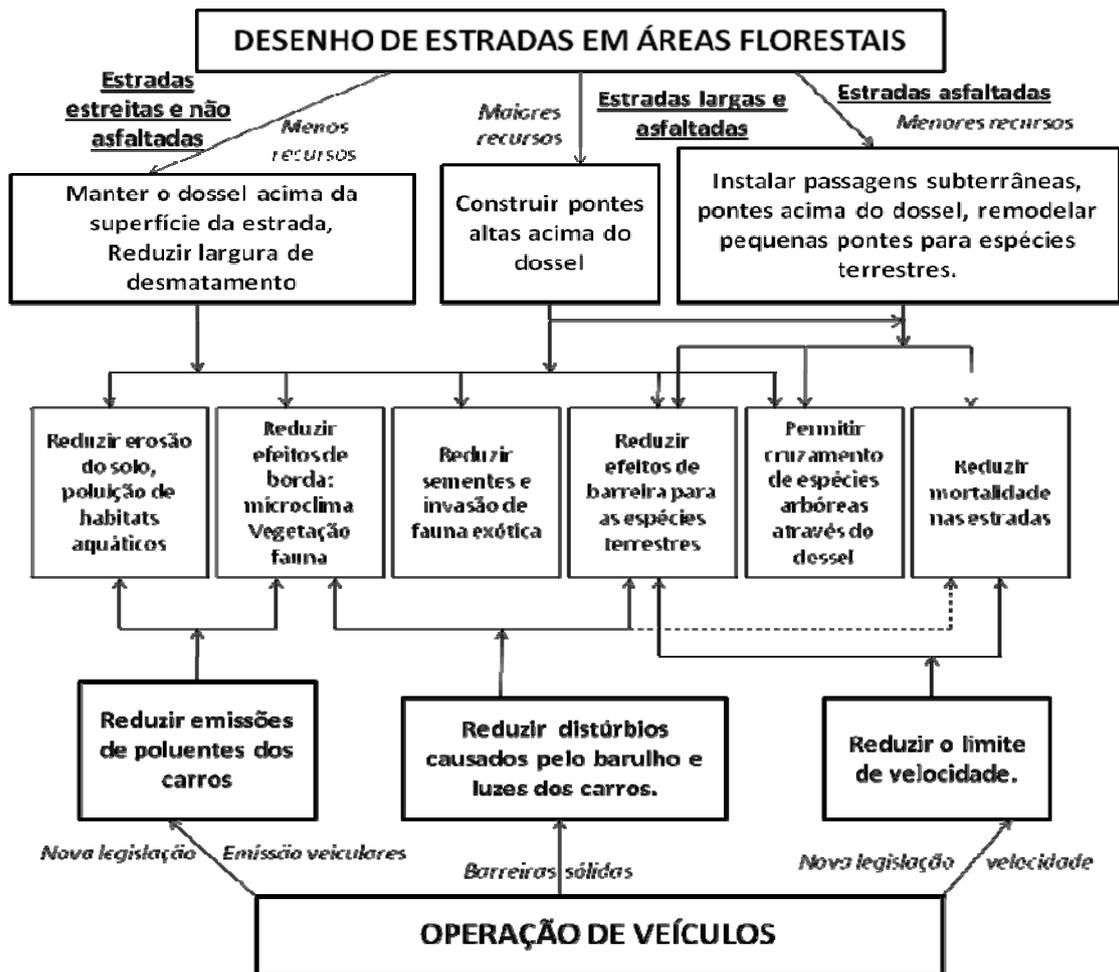


Figura 1: Quadro modificado de Goosem (2007), mostrando melhorias nos impactos das operações em rodovias estreitas a grandes. Os tipos de estradas estão sublinhados, estratégias para diminuir impactos estão nos quadros em negrito, os impactos estão nos quadros com fonte regular, pesquisas necessárias em itálico.

Referências Bibliográficas

AETT (Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres). 2008. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em: <http://201.57.54.6/InformacoesTecnicas/aett/aett_2008/principal.asp>. Acesso em: 05 de janeiro de 2011.

- BENNETT, A.F. Roads, roadsides and wildlife conservation: a review. In: Saunders, D.A., Hobbs, R.J. (Eds.), **Nature Conservation 2: the Role of Corridors**. R.J. Surrey Beatty, Chipping Norton, Australia, 99–117. 1991.
- BENÍTEZ-LÓPEZ, A.; ALKEMADE, R.; VERWEJI, P. A. The impacts of Road and other infrastructure on mammal and BIRD populations: A meta-analysis. **Biological Conservation**. 143: 1307-1316. 2010.
- CÁCERES, N. C.; HANNIBAL, W.; FREITAS, D. R. et al. Mammal occurrence and roadkill in two adjacent ecoregions (Atlantic Forest and Cerrado) in south-western Brazil. **Zoologia**, v. 27, p. 709-717, 2010.
- CLEVINGER, A.P.; CHRUSZCZ, B.; GUNSON, K.E. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. **Biological Conservation** 109: 15–26. 2003.
- COELHO, I.P.; KINDEL, A.; COELHO, A.V.P. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. **European Journal of Wildlife Research**. 54: 689–699. 2008.
- FARIG, L.; RYTWINSKI, T. Effects of Roads on Animal Abundance: an Empirical Review and Synthesis. **Ecology and Society** 14(1): 21. 2009.
- FORD, A.T.; FAHRIG, L. Diet and body size of North American mammal road mortalities. **Transportation Research Part D** 12: 498–505. 2007.
- FORMAN, R.T.T., ALEXANDER, L.E., Roads and their major ecological effects. **Annual Review of Ecology and Systematics** 29: 207–231. 1998.
- FORMAN, R.T.T., SPERLING D.; BISSONETTE J. A.; et al. Road ecology: science and solutions. **Island Press, Washington**. 2003.
- FREY, S. D.; CONOVER, M. R. Habitat use by meso-predators in a corridor environment. **Journal of Wildlife Management**. 70: 1111-1118. 2006.

- GOOSEM, M. Fragmentation impacts caused by roads through rainforests. **Current science**, 93 (11): 1587-1595. 2007.
- GRILO, C.; BISSONETTE, J.A.; SANTOS-REIS, M. Spatial-temporal patterns in Mediterranean carnivore Road casualties: Consequences for mitigation. **Biological Conservation**. 142: 301-313. 2009.
- KNOBLOCH, I. W. Death on the highway. **Journal of Mammalogy**. 20:499-509. 1939.
- LAURANCE, W.F., GOOSEM, M.; LAURANCE, S.G.W. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. **Trends in Ecology and Evolution**. 24: 659-669. 2009.
- RAMP, D.; CALDWELL, J.; EDWARDS, K.A.; et al. Modelling of wildlife fatality hotspots along the Snowy Mountain Highway in New South Wales, Australia. **Biological Conservation** 126: 474-490. 2005.
- RODRIGUES, F. H. G. Biologia e Conservação do lobo-guará na Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF. Tese (Doutorado). **Universidade Estadual de Campinas**. 2002.
- SEILER, A. Ecological effects of roads: a review. **Introductory Research Essay N° 9**. Swedish University of agricultural sciences. Department of Conservation Biology. 2001.
- SILVA, C. Em 4 anos, País terá 4 carros por habitante. **Jornal O Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20100131/not_imp504145,0.php>.
- Acesso em: 05 de janeiro de 2011. 2010.

- SMITH-PATTEN, B. D.; PATTEN, M. A. Diversity, Seasonality, and Context of Mammalian Roadkills in the Southern Great Plains. **Environmental Management**. 41: 844-852. 2008.
- SPRAGUE, J. M. Notes on mammal mortality on highways. **Journal of Mammalogy**. 20: 102-112. 1939.
- STONER, D. The toll of the automobile. **Science**. 61: 56-57. 1925.
- TAYLOR, B. D.;GOLDINGAY, R. L. Wildlife road-kills on three major roads in north-eastern New South Wales. **Wildlife Research**. 31: 83-91. 2004.
- TROMBULAK, S. C.; FRISSEL, C. A. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. **Conservation Biology**. 14: 18-30. 2000.
- VAN DER ZANDE, A. N.; TER KEURS, W. J. VAN DER WEIJDEN, W. J. The impact of roads on the densities of four birds species in na open Field habitat-evidence of a long-distance effect. **Biological Conservation**. 18: 299-321. 1980.
- VIEIRA, E.M. Highway mortality of mammals in central Brazil. **Ciência e Cultura**. 48(4):270–272. 1996.

CAPÍTULO 1

PADRÕES ESPACIAL E TEMPORAL DO ATROPELAMENTO DE MAMÍFEROS EM UMA RODOVIA NO CERRADO BRASILEIRO

1. Introdução

Uma das maiores preocupações atuais para os conservacionistas é a questão das estradas e os distúrbios que ela causa ao meio ambiente (Benítez-López *et al.* 2010). As estradas afetam a atmosfera, o solo, a vegetação, a fauna e o homem (Forman *et al.* 2003), levando à fragmentação dos habitats, causando efeitos de borda, distúrbios na paisagem pelo tráfego de veículos, emissões gasosas, facilitam a colonização por espécies invasoras (vegetais e animais) e aumentam o acesso de caçadores. Um dos impactos mais notados é a morte de animais silvestres causada pela colisão com veículos (Forman *et al.* 2003; Goosem 2007; Barthelmess e Brooks 2010).

Segundo Jaeger *et al.* (2005), os animais podem apresentar respostas comportamentais ao tráfego e às estradas, como o comportamento de evitar (*avoidance* em inglês) as estradas (devido ao ruído ou ao efeito de borda) e a habilidade de escapar dos carros que diminuem as probabilidades de colisões e mortes. Por outro lado, essas respostas comportamentais têm aspectos negativos, especialmente para os animais que evitam as estradas, pois diminui o acesso a outros habitats já que a rodovia representa uma barreira física isolando as populações. A habilidade de escapar dos carros, como perceber a velocidade e conseguir atravessar uma estrada sem ser atropelado, pode ser considerada positiva, pois diminuem as chances do animal ser atingido pelo veículo. Mas segundo Forman *et al.* (2003), existe um outro tipo de resposta, que é a pior delas: a atração de certos animais pelas estradas, pois isto aumenta consideravelmente a presença desses animais nas estradas e a chance de atropelamentos.

Um grande número de ocorrências de atropelamentos de uma determinada espécie não significa, necessariamente, uma ameaça para a persistência da população, pois pode indicar uma elevada abundância local ou uma ampla distribuição espacial

(Seiler 2001, Cáceres *et al.* 2010). No entanto, mesmo uma baixa taxa de atropelamentos pode representar uma perda significativa para populações raras ou ameaçadas de extinção (Forman e Alexander 1998). Espécies mais susceptíveis a acidentes são aquelas como alta capacidade de deslocamento, baixas taxas de reprodução e aquelas que não evitam estradas (Forman *et al.* 2003; Goosem 2007; Laurance *et al.* 2009).

No caso dos mamíferos, o tamanho corporal e a dieta também são características importantes para definir quais espécies são mais susceptíveis (Barthelmess e Brooks 2010; Cáceres *et al.* 2010). Animais maiores têm maiores áreas de vida, além de se deslocarem mais pela paisagem, e conseqüentemente, apresentam maior probabilidade de encontrarem com as estradas do que animais de pequeno porte (Forman e Alexander 1998; Ng *et al.* 2004). A dieta é outro fator importante, já que os herbívoros, normalmente, apresentam maiores densidades populacionais que os carnívoros ou onívoros. Além disso, muitos herbívoros são atraídos pelas gramíneas existentes ao longo das bordas das estradas, assim como os onívoros são atraídos pelo lixo jogado ao longo delas, e os carnívoros pelas carcaças (Bennett 1991). Outros fatores, como as características espaciais da paisagem também são importantes para determinar onde os animais são atropelados e as taxas de atropelamentos (Forman e Alexander 1998; Clewenger *et al.* 2003).

No Brasil, são poucos os estudos que relacionam as ocorrências de atropelamentos com características da paisagem ou biológicas (Coelho *et al.* 2008; Cáceres *et al.* 2010). No Cerrado, apesar da grande diversidade biológica presente neste bioma, considerado um hotspot (Myers *et al.* 2000), poucas ações tem sido tomadas para a sua conservação. O Cerrado tem sofrido grandes ameaças, pela expansão da

agricultura, construção de estradas, desmatamentos e a urbanização (MMA 2002). Essa ocupação da terra leva a fragmentação e a perda dos habitats naturais, o que acaba ameaçando muitas populações de animais silvestres (Karanth e Chellam 2009). Análises globais sobre o status de conservação dos mamíferos mostram um cenário preocupante em relação às ameaças que estes animais sofrem. Forman e Alexander (1998) consideram que o atropelamento de fauna tem maior impacto que a caça sobre as taxas de mortalidade de vertebrados terrestres, nos dias de hoje, em regiões muito impactadas.

Como visto, os atropelamentos de fauna em estradas podem ser afetados por diversos fatores, incluindo a biologia das espécies, o tráfego e as características da estrada e a estrutura da paisagem. Somente a contagem de animais mortos não é suficiente para se entender a relação entre as rodovias e a fauna silvestre, é importante identificar onde existe maior probabilidade desses animais serem atropelados e por que (Clevenger *et al.* 2003; Ramp *et al.* 2005). Deste modo, identificar estes fatores é crucial para o desenvolvimento de medidas que minimizem as taxas de mortalidade de animais silvestres nas estradas (Malo *et al.* 2004).

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

O intuito foi avaliar os fatores espaciais e temporais da paisagem que podem influenciar no atropelamento de mamíferos de médio e grande porte na rodovia SP-225, nordeste do Estado de São Paulo, considerando as características da paisagem no entorno da rodovia.

2.2. Objetivos específicos

- Verificar quais foram as espécies de mamíferos mais atropeladas no período estudado;
- Verificar se existem agregações nos atropelamentos em alguns trechos da estrada;
- Verificar quais as características da paisagem do entorno da estrada estão associadas à ocorrência de atropelamento para três espécies selecionadas;
- Verificar se existem diferenças entre as estações chuvosa e seca nas taxas de atropelamentos, nos anos 2006 e 2007;

3. Material e Métodos

3.1. Área de estudo

A área de estudo corresponde a um trecho da rodovia SP-225 (Rodovia Engenheiro Paulo Nilo Romano), entre os Km 75 e o Km 235, correspondendo ao trecho entre as cidades de Jaú ($22^{\circ}17'47''\text{S}$, $48^{\circ}33'28''\text{W}$) e Itirapina ($22^{\circ}15'10''\text{S}$, $47^{\circ}49'22''\text{W}$; Figura 1). A vegetação se caracteriza por áreas de cerrado, floresta semidecídua e mata ciliar. O clima da região é temperado úmido, com inverno seco, sendo a estação seca de abril a setembro e a estação chuvosa de outubro a março (Brasileiro *et al.* 2005; Instituto Florestal 2010).

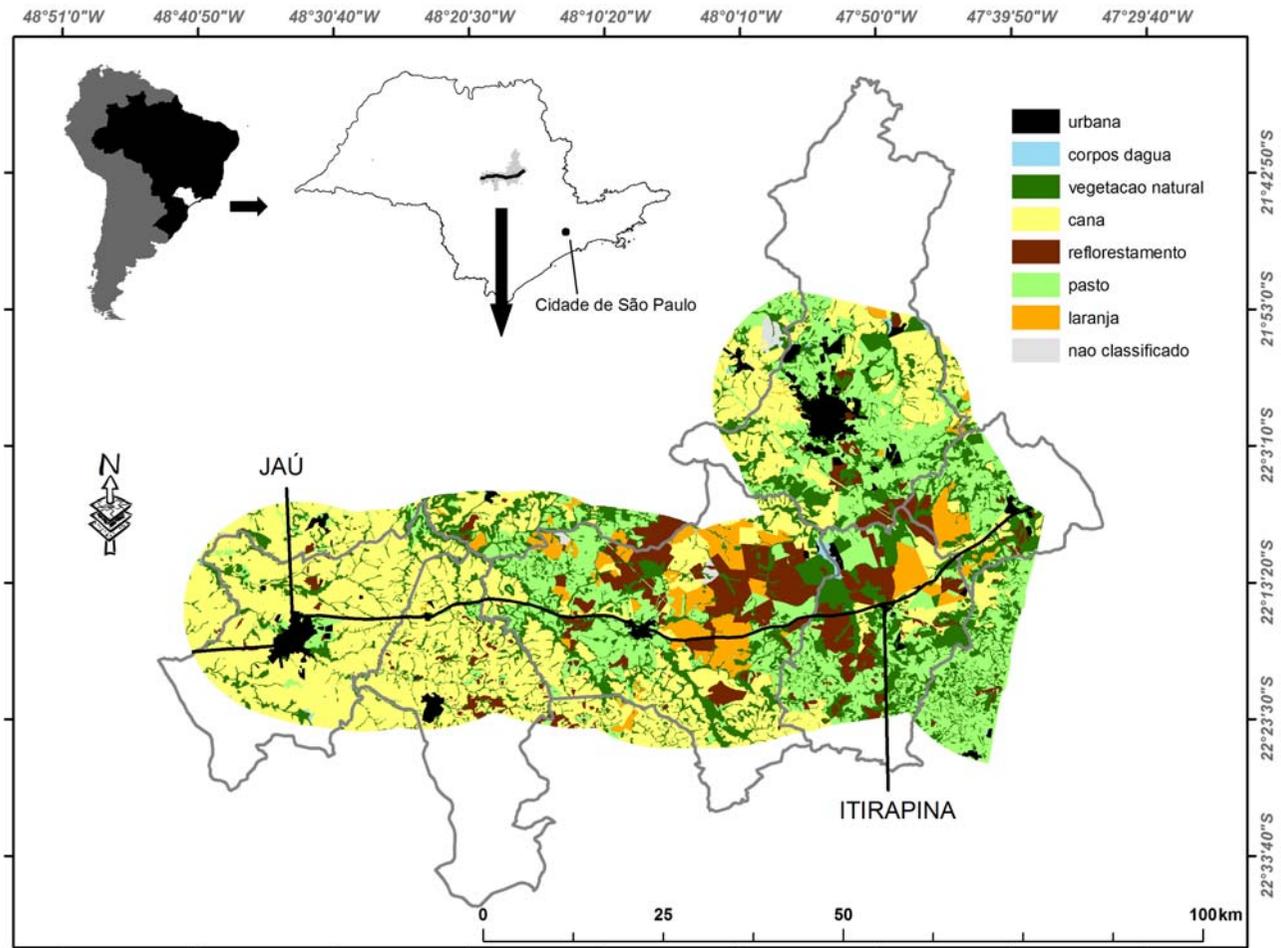


Figura 1. Localização da rodovia SP-225 no Estado de São Paulo, destacando os municípios e o uso e cobertura da terra no entorno da rodovia (15 km) no trecho entre Jaú e Itirapina.

Até março de 2008, a rodovia SP-225 era uma estrada de pista simples, asfaltada, com as margens invadidas por gramíneas. A região entorno da rodovia apresenta diversos tipos de plantações, principalmente cana-de-açúcar, laranjais, reflorestamento com *Pinus* e *Eucaliptus* spp., assim como pastos e algumas áreas de vegetação nativa (Figura 2).

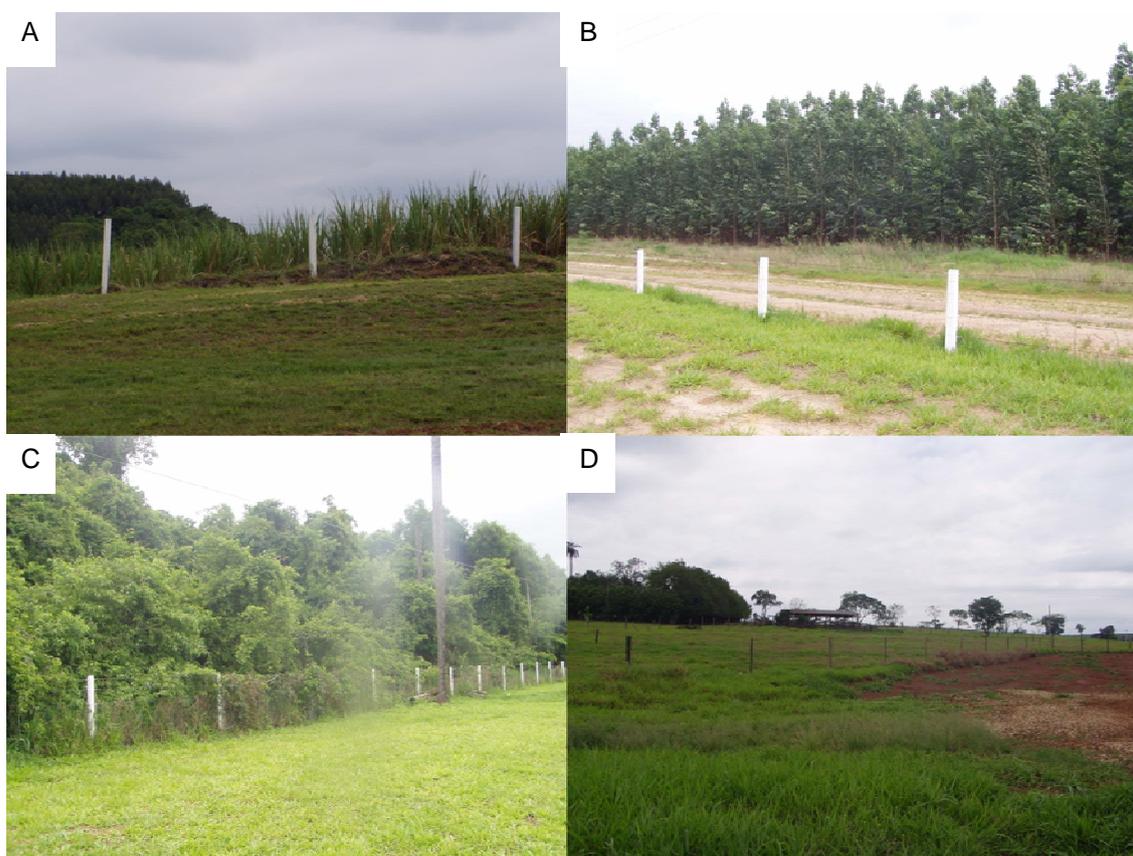


Figura 2. Fotos do entorno da rodovia SP-225: A) canavial, B) reflorestamento com *Pinus* sp., C) vegetação nativa, D) pasto.

A área possui três áreas protegidas: a Estação Ecológica de Itirapina, as Estações Experimentais de Jaú e Itirapina (Instituto Florestal 2010). A Estação Ecológica de Itirapina tem uma área de 2.300 ha, dentro dos municípios de Itirapina e Brotas, sendo

constituída por diversas fisionomias de cerrado, como campo sujo, campo limpo, campo cerrado, e contando com algumas espécies endêmicas e algumas ameaçadas ou vulneráveis, como a codorna-buraqueira, a ema, a siriema, o lobo-guará e o veado campeiro (Biota 2010; Instituto Florestal 2010). A Estação Experimental de Itirapina tem uma área de 3.212 ha no município de Itirapina, conta com uma área de cerrado e outra de mata ciliar, mas é basicamente constituída por plantações de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. (Biota 2010; Instituto Florestal 2010). A Estação Experimental de Jaú, no município de Jaú, tem área de 259 ha, e é constituída basicamente de Floresta Estacional Semidecidual e reflorestamento de *Eucalyptus* sp. (Biota 2010; Instituto Florestal 2010).

3.2. Coleta dos dados

Os dados foram coletados de janeiro de 2006 a fevereiro de 2008. O monitoramento da rodovia SP-225 foi realizado de carro, em parceria com a OHL Brasil, em uma velocidade média de 50-60 km/h, diariamente, a cada 3 horas. Todos os animais encontrados foram registrados, anotando-se as informações: nome popular do animal, data, hora, coordenadas geográficas e o quilômetro, além de uma fotografia do animal atropelado que foi arquivada para posterior verificação da identificação. Quando houve dificuldade na identificação, essas fotos foram enviadas para outros especialistas em mastofauna.

3.3. Análise dos dados

Foi feita uma contagem de todas as espécies de mamíferos de médio e grande porte atropeladas, e foi feita a média de quantos indivíduos foram atropelados por mês e por km, na SP-225 entre o Km 75 e o Km 235.

3.3.1. Padrões espaciais nas ocorrências de atropelamentos

Para avaliar se há padrões espaciais nos atropelamentos, foram usados dois tipos de análises: 1) ocorrências por trechos da estrada (agregações); e 2) as características da paisagem no entorno das ocorrências de atropelamentos para três espécies selecionadas.

3.3.1.1. Ocorrências por trechos da estrada

A rodovia foi dividida em trechos de um quilômetro e de cinco quilômetros, começando no Km 75 até o Km 235. Calculou-se a frequência de atropelamentos para cada espécie em cada trecho para verificar agregações ao longo da estrada. Com esta abordagem, pretende-se sugerir formas de mitigação de atropelamentos (ex. passagens para a fauna) nos trechos com maior agregação.

3.3.1.2. Características da paisagem no entorno das ocorrências de atropelamentos para três espécies selecionadas

Foram selecionadas três espécies para esta análise: as duas mais atropeladas (*Cerdocyon thous* e *Lepus europaeus*) e uma considerada quase ameaçada à extinção (*Chrysocyon brachyurus*; IUCN 2010).

Chrysocyon brachyurus, o lobo-guará (Figura 3), é o maior representante da família dos canídeos na América do Sul. Quando adulto, pesa entre 23 kg e 30 kg (Juarez & Marinho-Filho 2002; Motta-Junior *et al.* 2002). Esse canídeo vive principalmente em ambientes abertos, como campos e cerrados, embora também possa freqüentar brejos e matas ao longo de cursos d'água. Além desses ambientes naturais, ocasionalmente pode ser visto em áreas alteradas como pastos, canaviais e plantações de eucaliptos e pinheiros (Ciocheti 2008). Trata-se de um animal solitário na maior parte do ano, excetuando a época da reprodução, quando ocorre a formação do casal. Tem o hábito de percorrer grandes distâncias dentro de sua área de vida, que pode variar de 21,7 km² a 115 km² (Carvalho e Vasconcellos 1995), caçando durante os períodos crepusculares e noturnos. Apresenta uma dieta bastante generalista (Motta-Junior *et al.* 2002; Rodrigues 2002). O lobo-guará gera grande preocupação, devido à destruição de seu habitat, assim como a perseguição por fazendeiros, sendo incluído nas listas de espécies ameaçadas de extinção (MMA 2003, IUCN 2010).



Figura 3. Fotografia de um indivíduo de *Chrysocyon brachyurus* (lobo-guará) atropelado na rodovia SP-225.

Cerdocyon thous, o cachorro-do-mato (Figura 4), é um canídeo de médio porte (4-7 kg) que ocorre em florestas tropicais, subtropicais, campos e cerrados. É um animal com hábitos crepusculares e noturnos. Apresenta uma dieta generalista, se alimentando de frutas, pequenos mamíferos e insetos (Facure e Monteiro-Filho 1996; Motta-Junior *et al.* 1996). Apresenta uma área de vida que varia de 5 a 10 km² (Bueno e Motta-Junior 2004).



Figura 4. Fotografia de um indivíduo de *Cerdocyon thous* (cachorro-do-mato) atropelado na rodovia SP-225.

Lepus europaeus, lebre-européia (Figura 5), é uma espécie exótica no Brasil. É um animal com hábitos noturnos e crepusculares, sendo que durante o dia permanece inativa em tocas (Angelici *et al.* 1999). *L. europaeus* ocorre principalmente em áreas abertas, plantações e pastos, sendo um herbívoro generalista (Auricchio e Olmos 1999). É uma espécie invasora, que traz sérios prejuízos para os agricultores, por seus

hábitos de pastoreio sobre as espécies vegetais nativas e cultivadas (Novillo e Ojeda 2008).

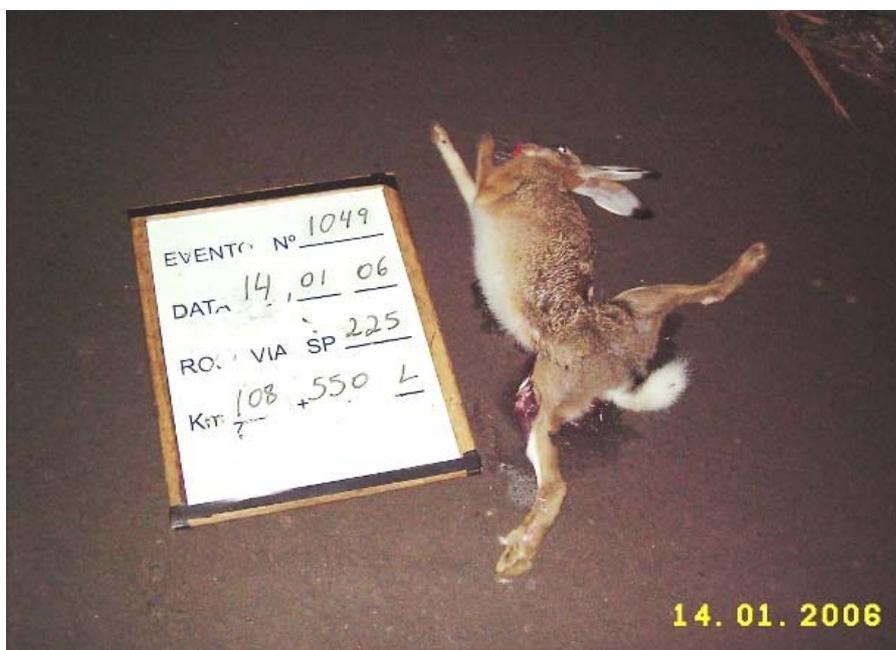


Figura 5. Fotografia de um indivíduo de *Lepus europaeus* (lebre-européia) atropelado na rodovia SP-225.

Para esta análise foi usado um mapa de uso e cobertura da terra, caracterizando 15 km no entorno da estrada SP-225 (Figura 1). O mapa foi feito através da classificação de imagens de satélite CBERS 2 (sensor HRC), resolução espacial de 4 m, manualmente, usando o programa ArcGIS 9.2. A acurácia da classificação foi de 87%. O mapa foi dividido em 7 classes de uso e cobertura da terra: área urbana, corpos d'água, vegetação nativa, canalial, laranjal, pasto e reflorestamento.

Os pontos de ocorrência de atropelamentos das três espécies selecionadas foram plotados no mapa, e em cada ponto foram criadas áreas de influência (*buffers*) de 1, 5 e 10 km de raio, para quantificar a área de cada classe de uso e cobertura da terra, representando as características da paisagem dentro de cada *buffer*. Foram feitos

três tamanhos diferentes de *buffers* para avaliar o efeito da escala espacial nas ocorrências de atropelamentos para cada uma das espécies. Segundo Ramp *et al.* (2005), a seleção dos tamanhos de *buffer* deve se basear na ecologia e comportamento da espécie estudada, assim, estes tamanhos foram selecionados com base no tamanho da área de vida das três espécies estudadas.

Para cada ponto de atropelamento foi sorteado um ponto de ausência de atropelamento ao longo da rodovia, onde se gerou os mesmos três tamanhos de *buffers* e se mediu a área das classes de uso e cobertura da terra dentro destes.

Para explicar as ocorrências através das características da paisagem foi feita uma análise de regressão logística usando como variável dependente a presença e ausência de atropelamento e como variável independente, a área relativa (%) de cada classe de uso e cobertura da terra em cada área de influência (1, 5 e 10 km). Foi usada uma combinação de no máximo duas variáveis independentes devido a limitações do tamanho amostral. Diferentes escalas nunca foram usadas no mesmo modelo. A análise de regressão linear generalizada, com distribuição binomial, foi feita no programa R 2.7.1 (The R Foundation for Statistical computing 2008). A seleção dos modelos foi feita através do Critério de Informação de Akaike (AIC; Burnham e Anderson 2002) com correção para amostras pequena (AICc), segundo Hurvich e Tsai (1989). Para classificar os melhores modelo e avaliar seu desempenho foi usado o peso (w_i) e as evidências (w_{i_max}/w_{i_i}) dados pelo AIC (Burnham e Anderson 2002). Todas as combinações de duas variáveis foram realizadas usando a correlação de Spearman para evitar problemas relacionados à multicolinearidade. Variáveis independentes com correlação maior que 60% não foram incluídas no mesmo modelo (Zar 1999).

3.3.2. Padrões temporais nas ocorrências de atropelamentos

Analisou-se a taxa de atropelamentos nas estações seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março) e entre os anos de 2006 e 2007 usando o teste de Kruskal-Wallis, sendo a hipótese nula (H0) que não há diferença significativa entre as estações ou ano ($\alpha=0,05$).

4. Resultados

De janeiro de 2006 a fevereiro de 2008, foram registrados 114 mamíferos, de 15 espécies, mortos por atropelamento na rodovia SP-225, entre o Km 75 e o Km 235 (Tabela 1). Em 26 meses ao longo de 160 quilômetros, foram atropelados 0,71 mamíferos/km e 4,39 mamíferos/mês, contabilizando 0,027 atropelamentos/km.mês.

Tabela 1. Mamíferos atropelados na rodovia SP-225, nordeste do estado de São Paulo, e as respectivas frequências de atropelamentos de cada espécie, no período de janeiro de 2006 a fevereiro de 2008.

ORDEM	FAMÍLIA	ESPÉCIES	NOME POPULAR	REGISTROS
Carnivora	Canidae	<i>Cerdocyon thous</i> (Linnaeus, 1766)	Cachorro-do-mato	32 (28,07%)
Lagomorpha	Leporidae	<i>Lepus europaeus</i> (Pallas, 1778)	Lebre-européia	22 (19,30%)
Rodentia	Caviidae	<i>Hydrochaerus hydrochaeris</i> (Linnaeus, 1766)	Capivara	10 (8,77%)
Carnivora	Canidae	<i>Chrysocyon brachyurus</i> (Illiger, 1815)	Lobo-guará	10 (8,77%)
Artiodactyla	Cervidae	<i>Mazama gouazoubira</i> (G. Fischer [von Waldheim], 1814)	Veado-catingueiro	8 (7,02%)
Cingulata	Dasypodidae	<i>Euphractus sexcinctus</i> (Linnaeus, 1758)	Tatu-peba	7 (6,14%)
Cingulata	Dasypodidae	<i>Dasypus novemcinctus</i> (Linnaeus, 1758)	Tatu-galinha	6 (5,26%)
Pilosa	Myrmecophagidae	<i>Tamandua tetradactyla</i> (Linnaeus, 1758)	Tamanduá-mirim	5 (4,39%)
Carnivora	Procyonidae	<i>Procyon cancrivorus</i> (G. Cuvier, 1798)	Mão-pelada	4 (3,51%)
Carnivora	Felidae	<i>Puma concolor</i> (Linnaeus, 1771)	Onça parda	4 (3,51%)
Carnivora	Procyonidae	<i>Nasua nasua</i> (Linnaeus, 1766)	Quati	2 (1,75%)
Carnivora	Mustelidae	<i>Galictis cuja</i> (Molina, 1782)	Furão	1 (0,88%)
Carnivora	Felidae	<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)	Jaguaririca	1 (0,88%)
Rodentia	Erethizontidae	<i>Coendou</i> sp.	Ouriço-caixeiro	1 (0,88%)
Rodentia	Cuniculidae	<i>Cuniculus paca</i> (Linnaeus, 1758)	Paca	1 (0,88%)

4.1.1. Padrões espaciais das ocorrências

4.1.1.1. Ocorrências por km ou trechos de 5 km na rodovia

Em relação às ocorrências por quilômetro, pode-se perceber uma agregação, ou seja, um maior número de atropelamentos, no Km 146, com 5,1% (6 registros), seguidos pelos Km 115 e Km 125, com 4,3% e 3,4% (5 e 4 registros) respectivamente (Figura 6).

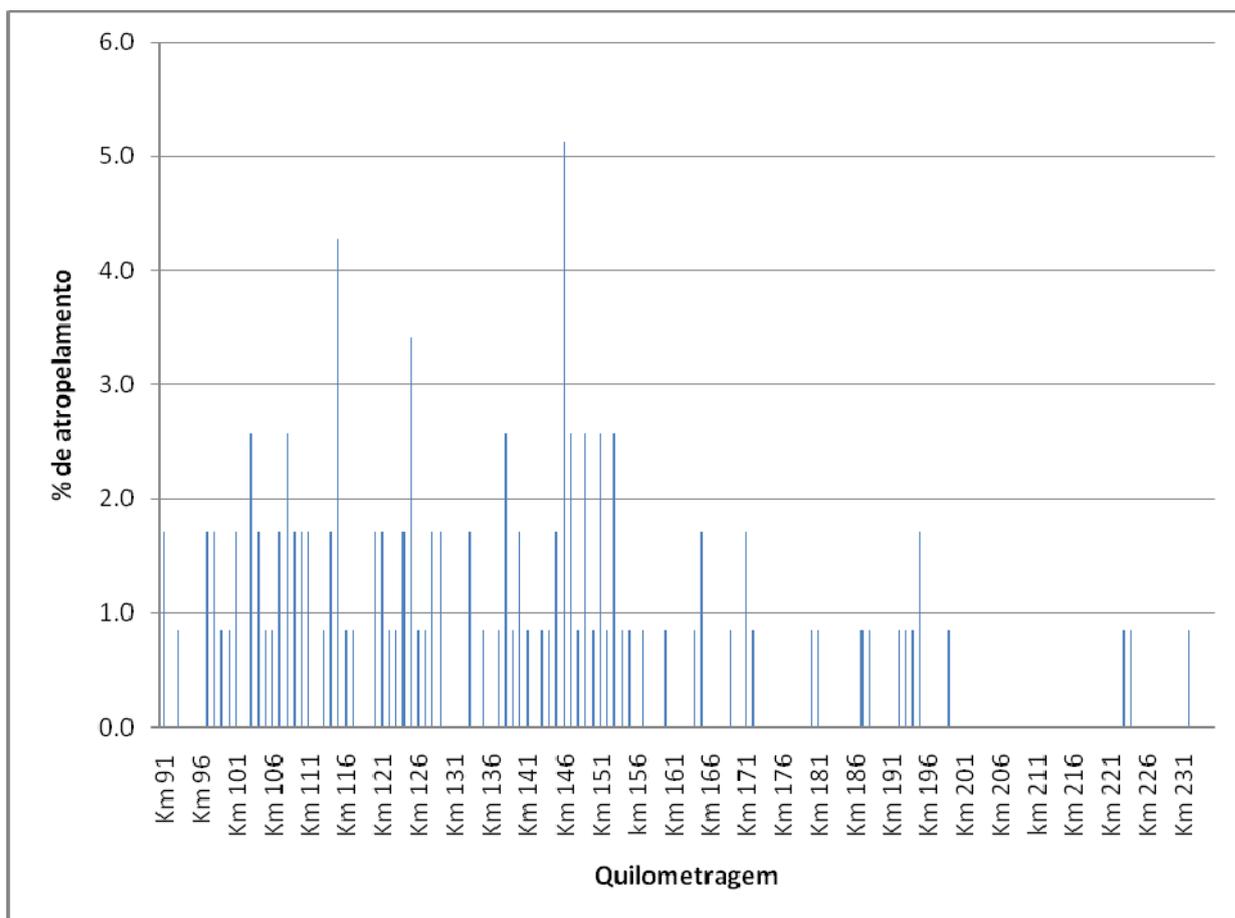


Figura 6. Abundância relativa (%) de atropelamentos por quilômetro na rodovia SP-225, entre o Km 75 e o Km 235.

Quando a estrada foi dividida em trechos de cinco quilômetros, o trecho com maior índice de atropelamento foi o Km145-150, com 12,7% (15 ocorrências), seguido pelo trecho Km125-130, com 8,5% (10 registros; Figura 7).

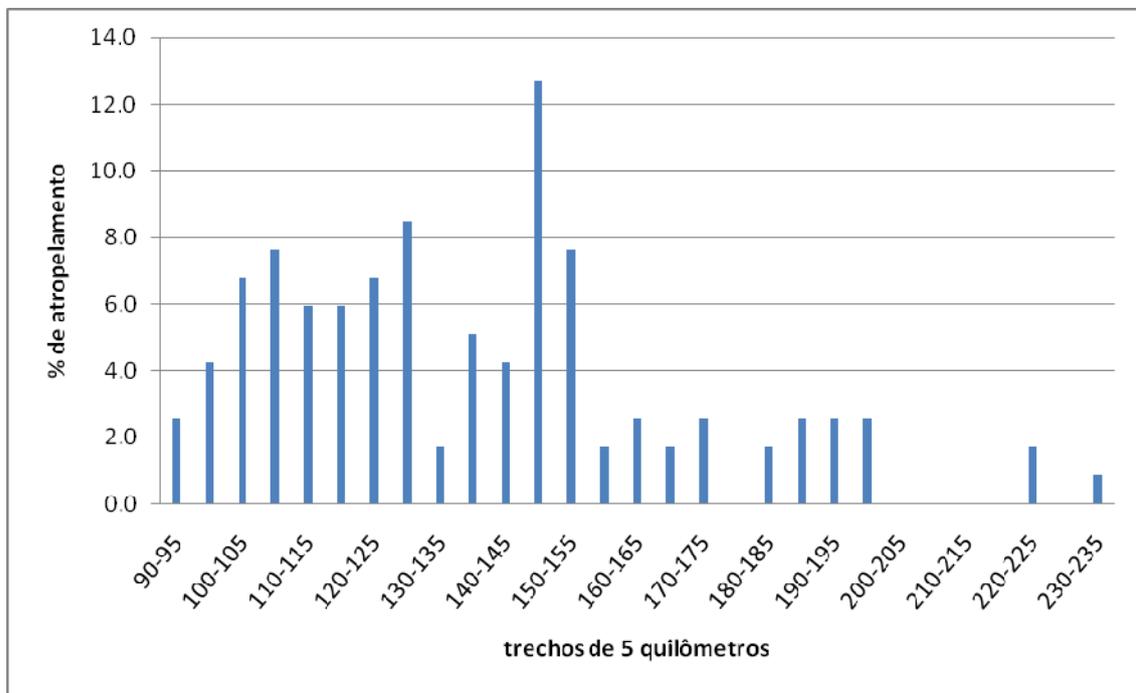


Figura 7. Abundância relativa de atropelamentos por trecho de cinco quilômetros na rodovia SP-225, entre o Km 75 e Km 235.

4.1.1.2. Características espaciais no entorno das ocorrências para três espécies selecionadas

Na análise da relação entre as características da paisagem e a ocorrência de atropelamentos, o modelo selecionado para *Chrysocyon brachyurus* indicou que seus atropelamentos ocorreram em áreas urbanas e com menos pasto. A incidência de atropelamento de *Cerdocyon thous* foi maior em áreas de reflorestamento e menos proporções de áreas urbanas, enquanto que os atropelamentos de *Lepus europaeus* ocorreram em áreas com maior proporção de reflorestamento e de plantações de

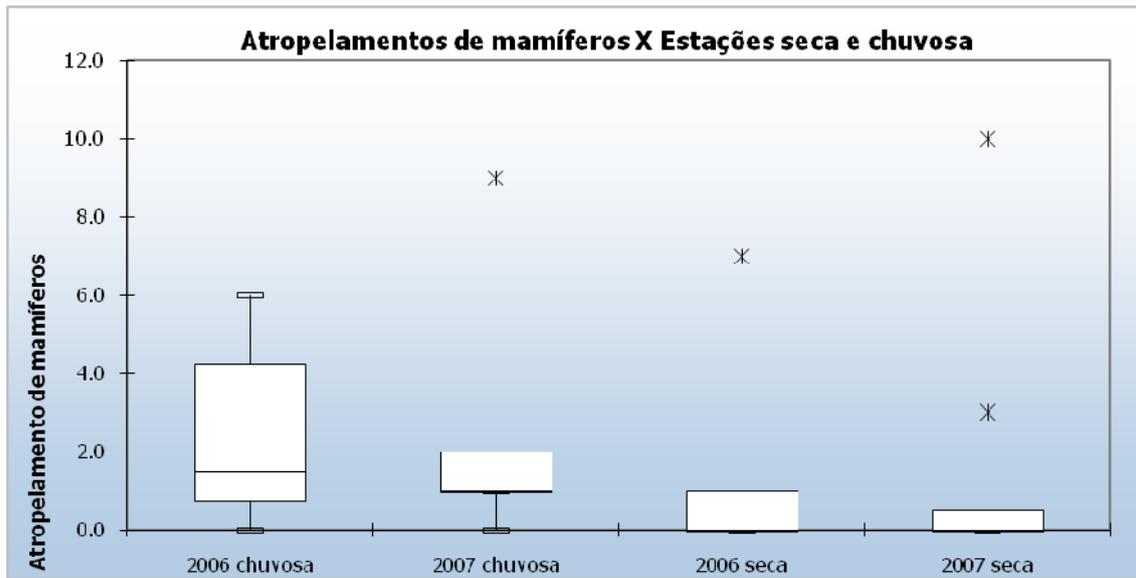
laranja em com menores proporções de vegetação nativa (Tabela 2). Os modelos que incluíram o tamanho do buffer como variável independente não foram selecionados pelo AICc, indicando que a escala espacial não foi relevante.

Tabela 2. Modelos selecionados através do AICc (Evidência ≤ 2) para as ocorrências de atropelamento das três espécies escolhidas: *Chrysocyon brachyurus* (n=10); *Cerdocyon thous* (n=32) e *Lepus europaeus* (n=22).

Variável dependente	Variável independente		AICc	wAIC	Evidência
<i>C. brachyurus</i>	- pasto	+ urbana	60,94	0,970	1,0
<i>C. thous</i>	+ reflorestamento		258,25	0,272	1,0
	+ reflorestamento	- urbana	258,90	0,197	1,4
<i>L. europaeus</i>	+ reflorestamento	+ laranjal	177,69	0,361	1,0
	+ reflorestamento	- vegetação nativa	178,79	0,208	1,7

4.1.2. Padrões temporais nas ocorrências de atropelamentos

Do total de 78 atropelamentos, nos anos de 2006 e 2007, 42 aconteceram em 2006 e 36 em 2007. Somando a estação seca dos dois anos, registrou-se 27 acidentes, e somando-se a estação chuvosa dos anos 2006 e 2007, foram 51 atropelamentos.



- Figura 8.** BoxPlot mostrando análise dos atropelamentos de todas as espécies de mamíferos registrada por estação chuvosa e seca nos anos 2006 e 2007, pontuando os outliers (Estação chuvosa de 2007: 9 registros de cachorro-do-mato; Estação seca de 2006: 7 registros de cachorro-do-mato e 4 registros de lebre-européia; Estação seca de 2007: 10 registros de cachorro-do-mato, 3 registros de lobo-guará e 2 registros de lebre-européia)

O teste de Kruskal-Wallis mostrou que existe uma diferença significativa entre as estações chuvosa e seca em 2006 ($H = 2.6596$; Graus de liberdade = 1; (p) Kruskal-Wallis = 0.1029), sendo os atropelamentos mais freqüentes na estação chuvosa (Figura 8), também houve diferença entre as estações em 2007 ($H = 3.1627$; Graus de liberdade = 1; (p) Kruskal-Wallis = 0.0753), sendo mais freqüentes na chuvosa também. Entre os anos de 2006 e 2007 não houve diferença em relação à estação chuvosa ($H = 0.3899$; Graus de liberdade = 1; (p) Kruskal-Wallis = 0.5324), assim como não houve diferença significativa em relação a estação seca ($H = 0.2413$; Graus de liberdade = 1; (p) Kruskal-Wallis = 0.6233).

5. Discussão

Mais de 100 mamíferos (0,027 atropelamentos/km.mês) foram atropelados na rodovia SP-225, que pode ser considerado um grande número de ocorrências para o Cerrado. Cáceres *et al.* (2010), em um estudo de sete anos, registrou 300 mamíferos atropelados ao longo de 2700 km de estradas, em outra área de Cerrado, representando 0,0013 atropelamentos/km.mês. No entanto, Coelho *et al.* (2008) encontrou um índice maior de atropelamento de fauna silvestre, em uma região de Mata Atlântica, no sul do Brasil. Ele registrou 548 mamíferos atropelados em apenas um ano, correspondendo a 0,34 atropelamentos/km.mês.

A maioria dos atropelamentos envolveu espécies mais comuns, abundantes e amplamente distribuídas pelas regiões de estudo. Os 114 registros de mamíferos mostraram que os animais mais atropelados (*Cerdocyon thous* e *Lepus europaeus*) são aqueles que normalmente apresentam grandes densidades populacionais, possuem hábitos generalistas, são localmente abundantes e que se deslocam bastante pela paisagem (Forman *et al.* 2003; Ford e Fahrig 2007; Coelho *et al.* 2008; Barthelmess e Brook 2010). O *C. thous* é comum na região de estudo, e é uma espécie muito encontrada em estradas no Cerrado do centro do Brasil (Vieira 1996). Isto pode explicar porque este animal teve a maior número de registros de atropelamento nesta área. O resultado encontrado neste estudo concorda com o encontrado por Cáceres *et al.* (2010), que acharam um grande número de cachorros-do-mato atropelados nas rodovias, em regiões de Cerrado e Mata Atlântica. A incidência de atropelamentos de *Cerdocyon thous* foi maior em locais de reflorestamento e áreas menos urbanas. Sendo um animal ecologicamente plástico, o cachorro-do-mato pode se adaptar bem em áreas agrícolas, de reflorestamento e em regeneração (Juarez e Marinho-Filho

2002). Assim, o *C. thous* pode estar usando áreas de reflorestamento distantes das áreas urbanas como rotas de deslocamento.

Os acidentes com *Lepus europaeus* ocorreram em áreas de reflorestamento e laranjais e em áreas com menos vegetação nativa. A lebre é um animal que se beneficia da expansão da agricultura, por ser um animal herbívoro e generalista, ela é muito encontrada em áreas de laranjal, canavial, entre outras (Auricchio e Olmos 1999). Assim, como já eram esperados, os atropelamentos de *L. europaeus* acontecem mais frequentemente em áreas próximas a seu habitat: plantações, e não são tão frequentes próximos de áreas de vegetação nativa. *Lepus europaeus* é uma animal herbívoro/generalista e é altamente adaptado a áreas agrícolas. Ford e Fahrig (2007) relacionam a frequência de atropelamentos em estradas com a dieta dos animais, eles afirmam que a dieta é relacionada com a densidade populacional, desta forma, herbívoros poderiam ter maiores índices de atropelamentos que os onívoros, assim como onívoros poderiam ter um índice maior que os carnívoros, uma vez que a frequência de acidentes tem relação com a densidade populacional. Outro aspecto a ser considerado é que a área de estudo é cercada por plantações de laranja, canaviais, pastos e que a lebre-européia é um animal invasor (Auricchio e Olmos 1999).

Chrysocyon brachyurus foi mais frequentemente atropelado em áreas proporcionalmente mais urbana e com menos pasto. O lobo-guará é um animal onívoro e oportunista, que se desloca por grandes distâncias (Motta-Junior 2000). Ele pode estar sendo atraído para as áreas urbanas por causa do lixo jogado nas bordas das estradas, assim como pela facilidade de caça de animais sinantrópicos (Rodrigues 2002). Os atropelamentos em áreas com menos pasto pode indicar um menor uso destas áreas, correspondendo a um uso ocasional de áreas mais impactadas. Outro

fator que pode levar ao aumento de atropelamento próximo de áreas urbanas é o maior volume de veículos nestas áreas.

Em um país com alta biodiversidade, as medidas mitigatórias deveriam incluir várias espécies e não apenas uma ou poucas espécies, como nas regiões temperadas (Grilo *et al.* 2009). Assim, as análises das agregações de registros de atropelamentos por quilômetro ou nos trechos de cinco quilômetros na rodovia são úteis para selecionar os locais mais críticos, com maior índice de acidentes. Os quilômetros que apresentaram os maiores índices de mortalidade de mamíferos são áreas rodeadas por pasto (Km 146), seguidas por áreas de laranjal, reflorestamento e vegetação nativa (Km115) e laranjal no Km 125. Na análise por trechos de cinco quilômetros, encontrou-se basicamente o mesmo resultado, sendo o primeiro trecho (Km145-150), com 15 registros, uma área cercada por pasto e canavial, com muitos atropelamentos de *L. europaeus* e *C. thous*, e o segundo (Km 125-130), com 10 registros, é um trecho com canaviais, pastos e áreas de reflorestamento. As duas análises mostraram o mesmo cenário, que as áreas mais impactadas são as mais prováveis para a ocorrência de atropelamentos de fauna silvestre em rodovias.

Durante a duplicação da SP-225 foram construídas passagens em alguns pontos da estrada, sendo 18 passagens, do Km 96 até o Km 153, e muitas dessas estão localizadas nos pontos de maior índice de atropelamentos encontrados neste trabalho. Existem passagens nos Km 146 e Km 115, além de outras nos trechos de maior número de acidentes. No trecho do Km 125-130, existe apenas uma passagem, localizada no Km 129, já no trecho do Km 145-150 existem duas passagens. Nem todas foram construídas com a finalidade de mitigar os problemas de atropelamento,

sendo algumas passagens para gado ou pontes sobre rios, mas podem contribuir para a diminuição do índice de atropelamentos.

Segundo Coelho *et al.* (2008), Fahrig e Rytwinski (2009), as variações temporais relacionadas ao índice de atropelamento de animais silvestres em rodovias podem estar relacionadas a diferenças na intensidade de tráfego durante o ano e a maiores deslocamentos e/ou abundância de certas espécies em determinados períodos, como épocas de reprodução, dispersão, ou ainda, a certas características do ambiente e disponibilidade de recursos alimentares. Provavelmente, os resultados encontrados neste estudo estão relacionados com esses tipos de características, como volume de veículos em certas épocas do ano, época de colheitas e queimada de cana-de-açúcar. Por isso, para analisar corretamente a diferença encontrada entre as estações chuvosa e seca em 2006 seria necessário dados da média mensal de tráfego na rodovia SP-225 na época. Quando as taxas de atropelamento variam no tempo, medidas mitigatórias móveis seriam mais adequadas, como por exemplo, redutores de velocidade, que podem ser mudados de posição, como radares.

Os resultados encontrados neste trabalho, assim como os encontrados em outros trabalhos com atropelamento de fauna silvestre no Brasil, como Cáceres *et al.* (2010) e Coelho *et al.* (2008), podem nos dar indicações de como as espécies estão se comportando em relação aos ambientes fragmentados e impactados. Neste trabalho notou-se que os animais estão se aproximando das áreas urbanas, agrícolas e de reflorestamento, já que a maior parte dos atropelamentos ocorreu nestas áreas. Desta forma, dados de fauna atropelada podem servir para conhecer melhor as respostas dos animais às mudanças da paisagem e para estudos de seleção de habitats.

6. Conclusão

Os animais mais atropelados foram os mais comuns, mais plásticos ou mais generalistas, como *Cerdocyon thous* e *Lepus europaeus*. Assim como já se esperava que a lebre fosse mais atropelada em ambientes agrícolas. No entanto, a maior incidência de *Chrysocyon brachyurus* em áreas urbanas não foi esperada, indicando que lobo-guará não é uma espécie com altas restrições de habitat. Dessa forma, conclui-se que nesta região, as áreas agrícolas e de reflorestamento podem estar sendo usadas como rotas por muitas espécies de mamíferos, sendo áreas de importância e preocupantes por apresentarem altos índices de atropelamentos em alguns trechos da estrada, assim como áreas urbanas podem estar sendo usadas por animais considerados quase ameaçados à extinção, como o lobo-guará, aumentando as suas taxas de mortalidade. Conhecer as características da paisagem que atraem os animais para as rodovias é relevante para selecionar as medidas mitigatórias mais adequadas para reduzir os atropelamentos de fauna silvestre nas estradas, especialmente nos trópicos, que precisam de abordagens multi-espécie.

7. Referências bibliográficas

- ANGELICI, F. M.; RIGA, F.; BOITANI, L. et al. Use of dens by radiotracked brown hares *Lepus europaeus*. **Behavioural Processes** 47: 205–209. 1999.
- AURICCHIO, P.; OLMOS, F. Northward Range Extension for the European Hare, *Lepus europaeus* Pallas, 1778 (Lagomorpha - Leporidae) in Brazil. São Paulo, **Publicações Avulsas do Instituto Pau Brasil** 2: 1-5. 1999.
- BARTHELMESS, E.; BROOKS M.S. The influence of body-size and diet on road-kill trends in mammals. **Biodiversity and Conservation** 19: 1611–1629. 2010.
- BENÍTEZ-LÓPEZ, A.; ALKEMADE, R.; VERWEIJ, P.A. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. **Biological conservation** 143: 1307-1316. 2010.
- BENNETT, A.F. Roads, roadsides and wildlife conservation: a review. In: Saunders, D.A., Hobbs, R.J. (Eds.), **Nature Conservation 2: the Role of Corridors**. R.J. Surrey Beatty, Chipping Norton, Australia, 99–117. 1991.
- BIOTA. **Unidades de Conservação**. Disponível em: <<http://www.biota.org.br/iScan?18+unid.conserv+1+0+index>>. Acesso em: dezembro de 2010.
- BRASILEIRO, C.A.; SAWAYA, R.J.; KIEFER, M.C. et al. Anfíbios de um fragmento de Cerrado aberto do sudeste do Brasil. **Biota Neotropica** 5 (2). 1-17. 2005.

- BRESSAN, P.M.; KIERULFF, M.C.M.; SUGIEDA, A.M. **Fauna Ameaçada de Extinção no Estado de São Paulo**. Fundação Parque Zoológico de São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente. 2009.
- BUENO, A. D., MOTTA, J. C. Food habits of two syntopic canids, the maned wolf (*Chrysocyon brachyurus*) and the crab-eating fox (*Cerdocyon thous*), in southeastern Brazil. **Revista Chilena de Historia Natural**, 77: 5-14. 2004.
- BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. Springer, New York, 488p. 2002.
- CÁCERES, N.C.; HANNIBAL, W.; FREITAS, D.R. et al. Mammal occurrence and roadkill in two adjacent ecoregions (Atlantic Forest and Cerrado) in south-western Brazil. **Zoologia** 27(5): 709-717. 2010.
- CARVALHO, C.T.; VASCONCELLOS, L.E.M. Disease, food and reproduction of the maned wolf - *Chrysocyon brachyurus* (Illiger) (Carnivora, Canidae) in southeast Brazil. **Revista Brasileira de Zoologia** 12(3): 627-640. 1995.
- CLEVINGER, A.P.; CHRUSZCZ, B.; GUNSON, K.E. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. **Biological Conservation** 109: 15–26. 2003.
- CIOCHETI, G. **Uso de habitat e padrão de atividade de médios e grandes mamíferos e nicho trófico de Lobo-Guará (*Chrysocyon brachyurus*), Onça-Parda (*Puma concolor*) e Jaguatirica (*Leopardus pardalis*) numa paisagem agroflorestral, no estado de São Paulo**. Dissertação

- (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
Departamento de Ecologia. 78pp. 2008.
- COELHO, I.P.; KINDEL, A.; COELHO, A.V.P. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. **European Journal of Wildlife Research**. 54: 689–699. 2008.
- FACURE, K.G.; MONTEIRO-FILHO, E.L.A. Feeding habits of the Crab-eating fox, *Cerdocyon thous* (Carnivora, Canidae), in a suburban area of southeastern Brazil. **Mammalia**, Paris, 60(1): 147-149. 1996.
- FARIG, L.; RYTWINSKI, T. Effects of Roads on Animal Abundance: an Empirical Review and Synthesis. **Ecology and Society** 14(1): 21. 2009.
- FORD, A.T.; FAHRIG, L. Diet and body size of North American mammal road mortalities. **Transportation Research Part D** 12: 498–505. 2007.
- FORMAN, R.T.T.; ALEXANDER, L.E. Roads and their major ecological effects. **Annual Review of Ecology and Systematics** 29: 207–231. 1998.
- FORMAN, R.T.T.; SPERLING D.; BISSONETTE J. A. et al. **Road ecology: science and solutions**. Island Press, Washington. 2003.
- GOOSEM, M. Fragmentation impacts caused by roads through rainforests. **Current science**, 93 (11): 1587-1595. 2007.
- GRILO, C.; BISSONETTE, J.A.; SANTOS-REIS, M. Spatial-temporal patterns in Mediterranean carnivore Road casualties: Consequences for mitigation. **Biological Conservation** 142: 301-313. 2009.
- HURVICH, C.M.; TSAI, C.L. Regression and time series model selection in small samples. **Biometrika** 76 (2): 297-307. 1989.

INSTITUTO FLORESTAL. **Áreas protegidas do Instituto Florestal.**

Disponível em:

<http://www.iflorestal.sp.gov.br/areas_protegidas/index.asp>. Acesso em

30/11/2010. 2010.

IUCN. **IUCN Red List of Threatened Species.** Disponível em

<www.iucnredlist.org>. Acesso em: 26/01/2011. 2010.

JAEGER, J.A.G.; BOWMAN, J.; BRENNAN, J. et al. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. **Ecological Modeling** 185: 329–348. 2005.

JUAREZ K.M.; MARINHO-FILHO. J. Diet, habitat use and home ranges of sympatric canids in central Brazil. **Journal of Mammalogy** 83: 925-933. 2002.

KARANTH, K. U.; CHELLAM, R. Carnivore Conservation at the crossroads. **Oryx** 43(1): 1-2. 2009.

LAURANCE, W.F.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S.G.W. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. **Trends in Ecology and Evolution** 24: 659-669. 2009.

MALO, J.E.; SUÁREZ, F.; DÍEZ, A. Can we mitigate animal–vehicle accidents using predictive models? **Journal of Applied Ecology** 41:701–710. 2004.

MMA-MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira: relatório de atividades.** PROBIO. Brasília: MMA. 2002.

- MMA-MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, Efeitos sobre a Biodiversidade e Recomendações de Políticas Públicas**. Rambaldi, D. M.; Oliveira, D. A. S. (orgs). Brasília: MMA/SBF. 2003.
- MOTTA-JUNIOR, J. C.; TALAMONI, S. A.; LOMBARDI J. A. et al. Diet of maned wolf, *Chrysocyon brachyurus*, in central Brazil. **Journal of Zoology** 240: 277-284. 1996.
- MOTTA-JUNIOR, J. C.; QUEIROLO, D.; BUENO, A. A. et al. Fama Injusta. **Ciência hoje** 31 (185) 71-73. 2002.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G. et al.. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. 403: 24. 2000.
- NG, S.J.; DOLE, J.W.; SAUVAJOT, R.M. et al. Use of highway undercrossings by wildlife in southern California. **Biological Conservation** 115: 499-507. 2004.
- NOVILLO, A. & OJEDA, R.A. The exotic mammals of Argentina. **Biology Invasions**, 10(8): 1333-1344. 2008.
- RAMP, D.; CALDWELL, J.; EDWARDS, K.A. et al. Modelling of wildlife fatality hotspots along the Snowy Mountain Highway in New South Wales, Australia. **Biological Conservation** 126: 474-490. 2005.
- RODRIGUES, F. H. G. **Biologia e Conservação do lobo-guará na Estação Ecológica de Águas Emendadas, DF**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas. 2002.
- SEILER, A. Ecological effects of roads: a review. **Introductory Research Essay N° 9**. Swedish University of agricultural sciences. Department of Conservation Biology. 2001.

VIEIRA, E.M. Highway mortality of mammals in central Brazil. **Ciência e Cultura**. 48(4): 270–272. 1996.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. New Jersey, Prentice-Hall, Inc. 1999.