

Por que o cachorro do mato atravessou a estrada? Características da paisagem associadas à mortalidade por atropelamento de *Cerdocyon thous*

Douglas W. CIRINO¹; Artur LUPINETTI¹; Simone Rodrigues de FREITAS¹.

¹Universidade Federal do ABC – UFABC. Centro de Ciências Naturais e Humanas. Avenida dos Estados, 5001. Bairro Santa Terezinha. Santo André - SP - Brasil. CEP 09210-580

RESUMO

A presença de determinadas espécies em diferentes regiões está condicionada por uma série de fatores ecológicos e da paisagem. O arranjo de manchas matrizes e corredores podem influenciar a ocorrência de espécies. Para os humanos, estradas e rodovias são corredores importantes para a locomoção, mas para grande parte da fauna e flora, estradas são matrizes hostis na paisagem. Estas matrizes causam diversos danos e levam ao atropelamento de fauna. Em um levantamento de registros de atropelamentos em território brasileiro, *Cerdocyon thous* – o cachorro-do-mato – foi uma das espécies mais recorrentes nos registros de atropelamentos no Brasil. O cachorro-do-mato é um carnívoro generalista, com grande distribuição na América do Sul, ocorrendo em todos os biomas brasileiros, com exceção do centro da Amazônia. Uma análise da paisagem foi feita utilizando mapas de uso e cobertura do solo e modelos lineares generalizados, nos revelando que os atropelamentos estão relacionados a fatores da paisagem como mosaicos de agropecuária e vegetação nativa, além de estarem relacionadas a proximidade de corpos d'água. A conversão de vegetação nativa em áreas de agropecuária é um dos avanços sobre os biomas que podem ser causados pela presença de estradas. *Cerdocyon thous* mostrou-se uma espécie recorrente neste tipo de arranjo da paisagem, e acreditamos que tenha expandido sua área de vida no bioma amazônico, acompanhando a expansão agrícola e a expansão da malha viária.

Palavras-chave: Mamíferos – Ecologia de Estradas – Ecologia da Paisagem – Atropelamento – Uso do solo.

INTRODUÇÃO

Ecologia de estradas: avaliando o impacto à biodiversidade sob a abordagem da Ecologia de Paisagens

A cobertura da vegetação nativa e o uso da terra podem ser utilizados, por meio de mapas, para o estudo de populações biológicas sob a perspectiva da Ecologia de Paisagens (Bueno *et al.* 2015; Freitas *et al.* 2015), permitindo entender como tais populações se organizam e são afetadas pelos diferentes tipos de uso do solo. Sob a perspectiva da

Ecologia de Paisagens podemos entender como alguns fatores podem afetar a fauna, tal como: o tamanho e a forma dos fragmentos de habitat, a conectividade entre esses fragmentos e o tipo de matriz no qual estão inseridos (Turner 2001).

Na Ecologia de Estradas podemos avaliar impactos da rede viária sobre as populações e comunidades biológicas (Forman *et al.* 2003; Roedenbeck *et al.* 2007; Van der Ree *et al.* 2015). Numa abordagem de paisagem, as estradas podem ser um tipo de matriz hostil, já que apresentam um risco às populações e comunidades biológicas, particularmente a fauna, devido às colisões entre veículos e animais e ao efeito-barreira que leva ao isolamento de populações e perda de diversidade nos habitats cortados pelas estradas (Laurance *et al.* 2009; Rosa & Bager 2013; Sunnucks & Balkenhol 2015).

O atropelamento de fauna é um dos principais problemas avaliados pela Ecologia de Estradas (Forman & Alexander 1998; Forman *et al.* 2003; Coffin 2007; Van der Ree *et al.* 2011; Rosa & Bager 2013; Van der Ree *et al.*,2015). A morte de animais devido a colisões é bastante recorrente e seu impacto nas populações e comunidades biológicas é relativamente alto dependendo da espécie envolvida (Forman *et al.* 2003; Van der Ree *et al.* 2011). Associados às ocorrências de atropelamentos estão diferentes características da paisagem, podendo ser possível encontrar padrões de ocorrência entre atropelamentos e a paisagem circundante à estrada (Bueno *et al.* 2015; Freitas *et al.* 2015; Ascensão *et al.* 2017).

Monitoramento de mamíferos atropeladas nas estradas brasileiras

Mamíferos e aves são os grupos de vertebrados mais registrados nos monitoramentos de atropelamento em estradas brasileiras (Dornas *et al.* 2012; CBEE 2016a). A distribuição de ocorrências de registro entre as espécies é bastante heterogênea e isto pode ser

justificado por hábitos e áreas de vida diferentes e até mesmo a cobertura de vegetação nativa, proximidade de rios e o tipo de matriz (Bueno *et al.* 2015; Freitas *et al.* 2015).

Nas análises de dados de atropelamentos de mamíferos, *Cerdocyon thous* (cachorro-do-mato) é a espécie mais frequente nos registros do Banco de Dados Brasileiro de Atropelamentos de Fauna Selvagem – BAFS (CBEE, 2016b). Beisiegel e colaboradores (2013) afirmam que o cachorro-do-mato é uma das espécies mais atropeladas em território nacional. Outros autores também afirmam que a espécie é líder em atropelamentos em rodovias nacionais (Vieira 1996; Prada 2004; Rosa & Mauhs 2004; Cherem *et al.* 2007; Coelho *et al.* 2008; Rezini 2010; Lemos *et al.* 2011; Dornas *et al.*, 2012). O atropelamento de cachorro-do-mato foi associado à cobertura de plantações de floresta (*Pinus sp.*) em uma rodovia no Cerrado paulista (Freitas *et al.* 2015).

O uso de dados de atropelamentos

De modo geral, os trabalhos publicados na área de Ecologia de Estradas apresentam um panorama local ou temporal limitado, sendo necessária uma análise em maior escala da situação dos atropelamentos. A diminuição do tamanho do fragmento florestal ou nativo de um bioma pode culminar na migração de indivíduos da fauna (Metzger 2001), que eventualmente encontram barreiras físicas como as estradas e são atropelados (Laurance *et al.* 2009). Registros de tais ocorrências podem nos apresentar dados relevantes quanto às estratégias de dispersão e os motivos pelos quais a fauna de dispersa, fornecendo arcabouço teórico para a identificação de padrões e produção de modelos ecológicos.

Além disso, podemos partir da premissa de que se uma espécie é atropelada em determinado local ela ocorre em determinado local, podendo muitas vezes o grande número de atropelamentos estar associado a existência de uma população naquela região.

Deste modo, entender a ocorrência de atropelamento da espécie objeto deste estudo – *Cerdocyon thous* - é entender a distribuição destes animais no espaço. Além disso, a busca por padrões de paisagem e uso do solo para tais atropelamentos, podem nos fornecer informações relevantes quanto às preferências e ocorrências destes animais em diferentes tipos de manchas de habitat e tipos de matriz na paisagem.

***Cerdocyon thous*: carnívoro generalista recorrente nos atropelamentos**

O cachorro-do-mato, *Cerdocyon thous* (Linnaeus, 1766) é um mamífero carnívoro e generalista, com uma ampla distribuição geográfica, parecendo tolerar distúrbios antrópicos na paisagem e com populações abundantes onde ocorre (Beisiegel *et al.* 2013). A espécie ocorre amplamente na América do Sul, ocupando todos os biomas brasileiros e as bordas da Floresta Amazônica. Alguns trabalhos buscaram verificar estruturações entre diferentes populações da espécie. Um estudo sobre filogeografia da espécie encontrou dois grupos bem estruturados com dados de mtDNA, um ao norte e outro ao sul da distribuição da espécie (Tchaika *et al.* 2007). Outro trabalho com análises morfométricas do crânio buscou entender historicamente a estruturação da espécie, encontrando três grupos distintos que podem ter se estruturado devido a uma glaciação no Holoceno e a manutenção de áreas abertas (Machado & Hingst-Zaher, 2009). São reconhecidas cinco subespécies de *Cerdocyon thous*, das quais três ocorrem no Brasil (Berta, 1982).

Por ser generalista, o animal é encontrado em diferentes tipos de formações vegetais, mas vive principalmente em áreas abertas, savanas, florestas abertas e áreas de borda (Berta, 1982; Cheida *et al.* 2006; Beisiegel *et al.* 2013). Devido a sua ampla distribuição a espécie está presente em 98 Unidades de Conservação dentro e fora do Brasil (Beisiegel *et al.* 2014), sendo considerada uma espécie com *status* de conservação pouco preocupante (IUCN, 2018).

Na ecologia de estradas, *Cerdocyon thous* é um animal bastante recorrente nos artigos de levantamento de atropelamentos a fauna silvestre, sendo um dos mamíferos mais atropelados no Brasil (Dornas *et al.* 2012; Beisiegel *et al.* 2013). Estes atropelamentos podem ser importantes dados para entender a distribuição da espécie e os limites de seu hábito generalista, sendo possível, através de uma abordagem da ecologia da paisagem, entender onde o animal é mais atropelado e quais os fatores estão mais relacionados a estas ocorrências.

2.2 OBJETIVOS

Entender como os atropelamentos a *Cerdocyon thous* podem estar relacionados às características da paisagem, através do uso de dados georreferenciados de mortalidade do animal em rodovias brasileiras.

- Obter dados georreferenciados de atropelamentos a *Cerdocyon thous* em todo o território brasileiro;

- Verificar em qual tipo de uso e cobertura do solo *Cerdocyon thous* é mais atropelado.

METODOLOGIA

COLETA DE DADOS

Atropelamentos

Foram coletados registros de atropelamentos a mamíferos em território nacional, buscando contabilizar os atropelamentos à espécie de estudo – *Cerdocyon thous*. Contamos com a colaboração de alguns pesquisadores que realizaram estudos de monitoramento de animais atropelados em rodovias em diferentes regiões do Brasil.

Solicitamos dados de ocorrências de atropelamentos às espécies objeto de estudo, além da coordenada geográfica e data das coletas.

Tivemos ainda uma segunda fonte de dados, coletados em 2016 no Banco de Dados de Brasileiro de Atropelamento da Fauna Selvagem (BAFS), uma iniciativa do Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas (CBEE, 2016b). Na época era possível fazer consulta ponto-a-ponto dos animais atropelados no UrubuMap (CBEE, 2016b) e foram incorporados na análise deste trabalho, eles são provenientes principalmente de projetos de monitoramento de rodovias em diferentes localidades do Brasil, e de dados coletados por colaboradores através do aplicativo *Urubu Mobile* (http://cbee.ufla.br/portal/sistema_urubu/urubu_mobile.php).

Obtivemos assim, duas bases de dados principais: (1) atropelamentos cedidos por colaboradores, georreferenciados; (2) atropelamentos coletados no UrubuMap, também georreferenciados.

Todos os dados foram organizados de acordo com o ano de registro do atropelamento, a fim de tornar possível analisar temporalmente a variação da paisagem ao longo dos pontos de atropelamento e relacionar adequadamente a paisagem à ocorrência.

Uso do Solo e Paisagem

A medição das características da paisagem foi feita utilizando fonte de dados de uso do solo, do MapBiomas (Projeto MapBiomas). O MapBiomas é uma iniciativa de mapeamento de uso do solo e conservação de vegetação nativa, possuindo dados para todos os Biomas brasileiros, ano a ano de 2000 a 2016, com precisão de 30 metros. Utilizamos assim os mapas produzidos, em formato raster (.tif) dos anos correspondentes aos registros de atropelamentos.

As cartas e os mapas de estradas e de rios coletados foram produzidos pelo IBGE, disponível nas bases cartográficas contínuas BCIM (Base Contínua ao Milionésimo), versão 2016 [http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm]; e, o limite das Unidades de Conservação de Proteção Integral, disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente [<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dadosgeorreferenciados>].

ANÁLISE DE DADOS

Geoprocessamento

Os dados de atropelamentos foram organizados em planilhas, identificando o tipo de coordenada e projeção (Lat. Long. ou UTM) e foram processados nos *softwares* de geoprocessamento QGIS v.3.0 [<http://www.qgis.org/en/site/>] e ArcGIS v.10.1 [<https://www.arcgis.com/features/index.html>], para a localização dos pontos no território Brasileiro. Todos os pontos foram reprojatados para um mesmo sistema de projeção (WGS 84), para facilitar o geoprocessamento, de forma compatível com os mapas de informações de uso e ocupação do solo.

Para cada ponto de atropelamento foram criados independentemente um *buffer* correspondente a área de influência da paisagem, permitindo serem feitas as medições de uso do solo relacionadas a cada atropelamento isoladamente. A área de influência foi baseada na área de vida estimada de cada espécie. Para o cachorro do mato (*Cerdocyon thous*) a literatura aborda que em média a área de vida do animal é de 4 km² (Cheida *et al.* 2006; Trovati *et al.* 2007). Para fins de aproximação, considerando que um círculo de 4 km² possui raio de ~ 1,13 km, esse seria o valor do raio de nosso *buffer*. Entretanto, o ponto de atropelamento não necessariamente representa o centro da área de vida do indivíduo, podendo ser por exemplo a borda da área de uso. Deste modo consideramos o

dobro do raio da área de vida como a medida para traçar o *buffer*, ou seja, aproximadamente 2,26 km, considerando que o atropelamento ocorreu na borda da área de uso (Figura 1).

Os *buffers* foram feitos através do uso do ArcGIS, sem dissolver os resultados dos polígonos. Deste modo, pudemos calcular o uso do solo e as diferentes características e arranjos espaciais da paisagem que estão dentro da área de influência de cada atropelamento individualmente (Figura 2a).

Após a construção dos *buffers* de influência foram selecionados, ano a ano, os mapas de uso do solo do MapBiomias, e extraídos os componentes da paisagem para cada *buffer* de influência de cada atropelamento (Figura 2b). Deste modo, se um atropelamento ocorreu, por exemplo, durante o ano de 2013 no bioma Mata Atlântica extraímos as características da paisagem mapeada pelo MapBiomias para o ano e bioma correspondentes. Os *buffers* - polígonos - foram cruzados (ferramenta *Intersect*) com o mapa de uso e cobertura dos respectivos biomas e dos respectivos anos; com o mapa de Unidades de Conservação de Proteção Integral (UC) e com o mapa de estradas e de rios. Para cada *buffer* foram medidas as áreas – em número de pixels de 30x30m - para cada um das classes de uso e cobertura da terra dos biomas mapeadas pelo MapBiomias. Foram medidas também as distâncias da UC mais próxima. Deste modo foi avaliada a porcentagem de cobertura de cada uma das classes de uso e cobertura da terra dentro do *buffer*. Obtivemos as seguintes variáveis representando as características da paisagem: (1) proporção de **floresta**; (2) proporção de **savana**; (3) proporção de **vegetação nativa aberta** do bioma; (4) proporção de **vegetação nativa** do bioma; (5) proporção de **pecuária**; (6) proporção de **agricultura**; (7) proporção de **agropecuária** (pecuária+agricultura); (8) proporção de **reflorestamento/silvicultura**; (9) proporção de **corpos d'água**; (10) distância mínima de **unidades de conservação** em relação ao ponto

de atropelamento; (11) distância mínima de **corpos d'água** em relação ao ponto de atropelamento.

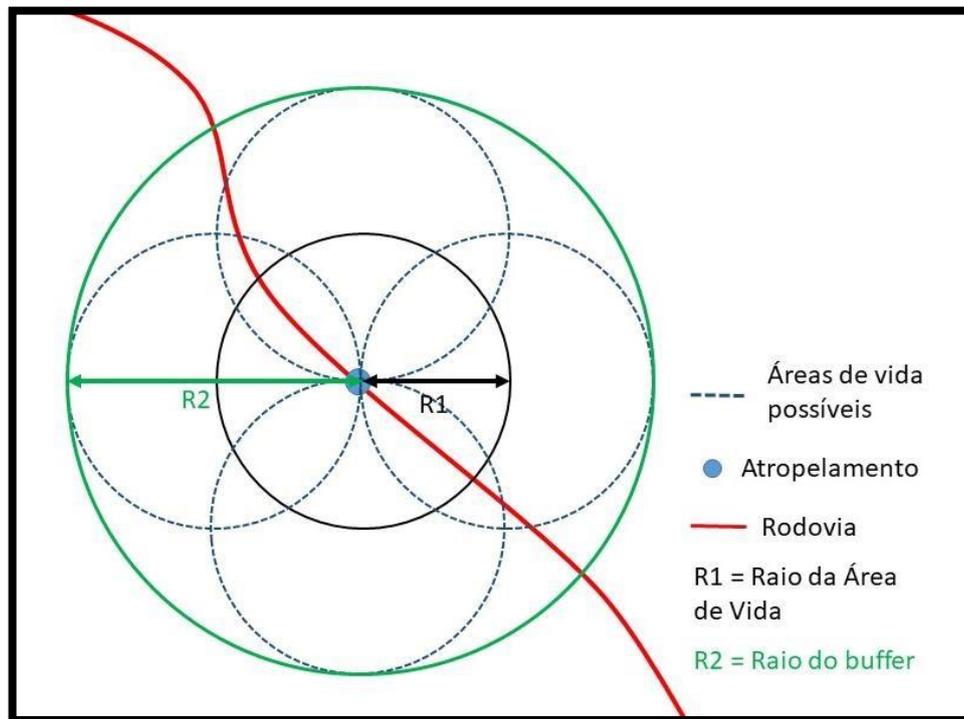


Figura 1- Esquema para construção do *buffer* – O ponto de atropelamento não é necessariamente o ponto central da área de vida do indivíduo, deste modo devemos considerar que o atropelamento pode ter ocorrido na periferia da área de vida, dobrando assim o raio do *buffer* de influência

Para acelerar o processo utilizamos o software *Geospatial Modeling Environment* [<http://www.spatial ecology.com/gme/index.htm>], com a ferramenta “*Intersect Polygon raster*” de modo que conseguimos, com a utilização conjunta do R [<https://www.rproject.org/>] e o ArcGIS, extrair as informações do mapa com mais eficiência, uma vez que o mapa de uso do solo do MapBiomas é composto por arquivos do tipo *raster* (.tif) e os polígonos de *buffers*, rios e rodovias são arquivos do tipo *shapefile* (.shp).

Ainda com o uso das ferramentas de geoprocessamento, geramos pontos aleatórios que representam os zeros (ausências) em nossa matriz de dados, para a análise do modelo linear generalizado - *glm*. Selecionamos as rodovias onde ocorreram os atropelamentos,

e em seguida geramos os *random points* sobre estas rodovias, ano a ano. Os pontos representando as ausências foram gerados na mesma quantidade dos pontos representando as presenças de atropelamentos para cada espécie, em cada ano e em cada região.

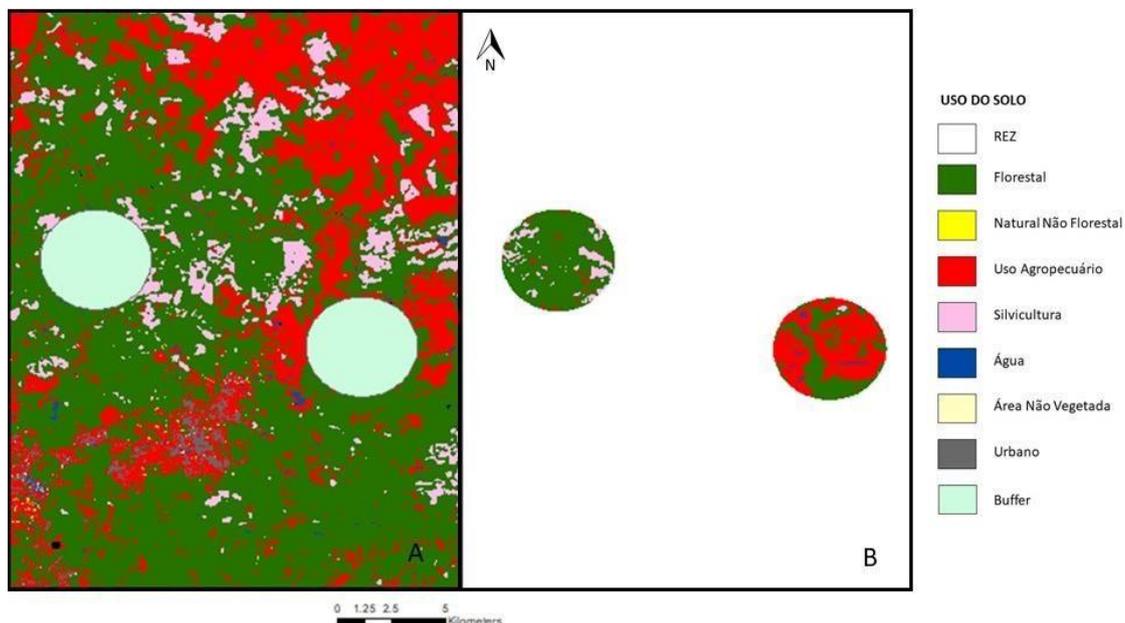


Figura 2 - Exemplo de extração da paisagem no *buffer* de influência. (A) *Buffer* individual para cada atropelamento. (B) área da paisagem a ser medida.

Análise Estatística

Após a divisão dos atropelamentos ano a ano e a extração das características da paisagem, fizemos uma estatística descritiva, analisando a variação temporal do número de registros de atropelamentos para *Cerdocyon thous* bem como a variação temporal do uso do solo dentro da área de influência de cada atropelamento.

Para identificar quais variáveis da paisagem respondem melhor aos registros de atropelamentos à *Cerdocyon thous*, foram criados modelos através de uma análise de regressão linear logística. Em seguida, os modelos foram selecionados por Critério de Informação Akaike (AIC; Burnham & Anderson 2002). Tais análises foram executadas no *software* R (<http://www.r-project.org/>), funções *glm* e *AICc*, para avaliar a relação entre ocorrência de atropelamentos e as variáveis de características da paisagem. Na análise de

regressão linear, a variável dependente foram as presenças e ausências de atropelamentos – matriz de 0 e 1 - e as variáveis independentes foram as 12 características da paisagem. Para concorrer com esses modelos, foi usado um modelo de efeito nulo (constante = 1), para avaliar a consistência do modelo selecionado pelo AIC. Os modelos foram criados tanto com as características da paisagem isoladamente, quanto em combinação com mais de uma variável.

RESULTADOS

Nossa coleta de dados resultou num total de 1282 atropelamentos georreferenciados à *Cerdocyon thous* distribuídos em todos os biomas brasileiros, e em todos os estados com exceção de Acre e Roraima, onde não há registro de ocorrência à espécie. Deste modo, nossas duas bases de dados - (1) atropelamentos cedidos por colaboradores, georreferenciados; (2) atropelamentos coletados no UrubuMap, também georreferenciados – nos deram um panorama satisfatório com uma boa amostragem dos atropelamentos em território nacional, nossas amostras estão bem distribuídas, podendo anular alguns vieses. Entretanto, notamos que no mapa é possível encontrar as regiões onde ocorreram os estudos sistemáticos, como por exemplo a BR-101 na região Sul do Brasil, ou até mesmo a BR-262 no Mato Grosso do Sul. Porém, estes vieses dos dados de estudos sistemáticos em relação aos dados do aplicativo Urubu Mobile – que são aleatórios - são superados pela geração dos pontos de ausência aleatoriamente para a análise binomial.

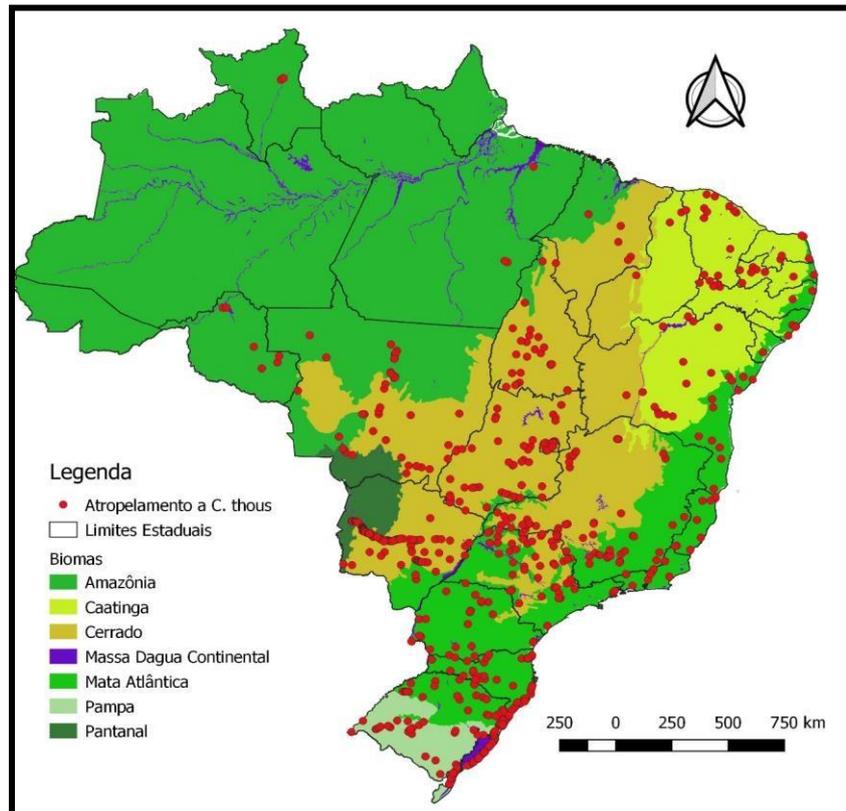


Figura 3 - Mapa de distribuição dos pontos de atropelamentos coletados. Há pontos em quase todos os estados brasileiros e em todos os biomas do território nacional.

Após a coleta de dados, geração dos pontos de ausência e a geração dos *buffers* com extração de características da paisagem através do geoprocessamento, como descrito na metodologia, geramos os modelos lineares generalizados no *software R*. Ao todo, foram gerados 45 modelos relacionando as ausências e presenças – 0 e 1 – de atropelamentos às características da paisagem. Estes modelos foram uni e multivariados e em seguida selecionamos os melhores modelos através do AIC.

Na metodologia por AIC os modelos concorrem entre si, de modo que assumimos que as características da paisagem elencadas possuem, em maior ou menor grau, influência para determinar os atropelamentos, sendo o critério Akaike um ponderador para mostrar o modelo que melhor se ajusta dentre os modelos analisados (Burnham & Anderson 2002). Primeiramente, selecionamos apenas os modelos com uma única

variável, para analisar separadamente quais características respondem melhor a presença dos atropelamentos (Tabela 1).

Tabela 1 - Modelos univariados selecionados por AIC em ordem de relevância. (AIC: Valor de Akaike; DAIC: distância do menor valor; DF: graus de liberdade ou número de variáveis do modelo)

MODELO	AIC	DAIC	DF	PESO	EVIDÊNCIA
(+) DISTÂNCIA DE CORPOS D'ÁGUA	3715.2	0.0	3	0.8123	1.0
(+) AGRICULTURA	3719.6	4.4	3	0.0891	9.1
(+)CORPOS D'ÁGUA NO BUFFER	3721.3	6.1	3	0.0387	21.0
(+)SILVICULTURA	3723.4	8.2	3	0.0135	60.2
(+)PECUÁRIA	3724.0	8.8	3	0.0099	82.1
(+)DISTÂNCIA DE UC'S	3724.4	9.2	3	0.0082	99.1
MODELO NULO	3724.4	9.2	2	0.0081	100.3
(+)SAVANA	3725.0	9.8	3	0.0061	133.2
(+)ÁREA NATURAL ABERTA	3725.3	10.1	3	0.0053	153.3
(+)DISTÂNCIA DE UC'S INTEGRAIS	3725.6	10.4	3	0.0046	176.6
(-) FLORESTA	3726.1	11.0	3	0.0034	238.9

O modelo que melhor respondeu nessa primeira seleção foi a distância do atropelamento a corpos d'água, demonstrando que há uma relação positiva entre os atropelamentos à *Cerdocyon thous* e a proximidade de corpos d'água. O modelo que surgiu logo em seguida foi agricultura, porém com menor peso e maior valor de AIC (Tabela 1).

Dados os modelos com uma única variável, selecionamos por AIC os modelos com mais de uma variável para explicar os atropelamentos à espécie, nesta modalidade de seleção o critério por informação Akaike penaliza os modelos com mais variáveis, isto é, quantas mais características da paisagem foram utilizadas para elaborar o modelo maior será seu valor de AIC, de modo que o modelo seja penalizado frente aos outros com menor número de variáveis independentes necessárias – características da paisagem - para explicar nossas variáveis dependentes – atropelamentos à *C. thous* (Burnham & Anderson, 2002).

Tabela 2 - Modelos com mais de uma variável melhor selecionados. (AIC: Valor de Akaike; DAIC: distância do menor valor; DF: graus de liberdade ou número de variáveis do modelo)

MODELO	AIC	DAIC	DF	PESO	EVIDÊNCIA
--------	-----	------	----	------	-----------

(+) AGROPECUÁRIA(+) DISTÂNCIA DE CORPOS D'ÁGUA	3539.6	0	4	0.4296	1
(+) SAVANA(+) AGROPECUÁRIA	3542.1	2.5	4	0.1202	1.21
(+) VEGETAÇÃO NATURAL ABERTA(+) AGROPECUÁRIA	3542.5	2.9	4	0.0991	1.26
(+) AGRICULTURA(+) DISTÂNCIA DE CORPOS D'ÁGUA	3542.6	3	3	0.0956	1.91
(+) AGROPECUÁRIA(+) SILVICULTURA	3543.4	3.8	4	0.063	2.92
(+) SILVICULTURA(+) DISTÂNCIA DE CORPOS D'ÁGUA	3544.3	4.7	3	0.0412	5.78
(+) DISTÂNCIA DE CORPOS D'ÁGUA	3545.6	6.1	2	0.0208	5.95
(+) AGROPECUÁRIA	3545.7	6.1	3	0.0202	5.95
(+) PECUÁRIA(+) AGRICULTURA	3545.7	6.1	3	0.0202	6.39
(+) SAVANA(+) DISTÂNCIA DE CORPOS D'ÁGUA	3545.8	6.3	3	0.0188	6.46
(+) PECUÁRIA(+) DISTÂNCIA DE CORPOS D'ÁGUA	3545.8	6.3	3	0.0186	8.71
(+) VEGETAÇÃO NATURAL ABERTA(+) DISTÂNCIA DE CORPOS D'ÁGUA	3546.4	6.9	3	0.0138	10.83
(+) PECUÁRIA(+) AGROPECUÁRIA	3546.9	7.3	4	0.0111	15.22
(+) PECUÁRIA(+) DISTÂNCIA DE CORPOS D'ÁGUA	3547.6	8	3	0.0079	23.57

Apesar das penalizações, o modelo que melhor se ajustou a presença de atropelamentos à *C. thous* foi justamente um dos que contava com maior número de variáveis independentes (Tabela 2). O modelo com agropecuária (pecuária + agricultura) e distância de corpos d'água foi o modelo melhor selecionado, demonstrando que apesar de penalizado por serem necessárias diversas variáveis independentes, este modelo responde melhor frente aos demais, com menos variáveis.

DISCUSSÃO

Todos os modelos melhores posicionados na seleção de AIC, trazem agropecuária como uma de suas componentes. Isso demonstra que este uso da terra, no caso de *Cerdocyon thous*, é bastante determinante para prever os atropelamentos à espécie. Além disso nossas análises estatísticas demonstraram que corpos d'água possuem uma relação negativa com o atropelamento à *C. thous* – o melhor modelo selecionado apresenta uma relação positiva com a distância da hidrografia – demonstrando que aparentemente o animal é atropelado mais frequentemente distante de rios e massas d'água. O modelo melhor selecionado – (+) Agropecuária (+) Distância De Corpos D'água – indica que,

apesar de ser um modelo com várias variáveis para explicar os atropelamentos, o que é penalizado pelo método de Akaike, ainda assim foi o modelo melhor selecionado, com agricultura, pecuária ou pastagens, e distância de corpos d'água como suas componentes.

O segundo melhor modelo selecionado para *C. thous* leva como componente áreas de savana, e em seguida áreas naturais abertas. Acreditamos que isso esteja diretamente relacionado com as áreas de preferência da espécie, como áreas abertas do Cerrado, florestas abertas da Mata Atlântica e campos na região dos Pampas, com a presença de áreas de agricultura e pecuária próximas. Podemos interpretar o resultado como uma relação entre a fragmentação da paisagem e o atropelamento à espécie, acreditamos que este é um sinal de que a fragmentação da paisagem, com a presença de muitas regiões de matriz e manchas de habitat pequenas estejam relacionadas aos atropelamentos, uma vez que a espécie tem preferência por áreas abertas (TROVATI *et al.*, 2007; BEISIEGEL *et al.*, 2013) e talvez se desloque mais em áreas abertas com a presença da fragmentação de origem antrópica. Neste mesmo sentido notamos que há sempre uma relação positiva entre matrizes de uso antrópico e os atropelamentos e uma relação negativa nos modelos compostos por cobertura florestal. Isto pode ser interpretado como uma tendência dos atropelamentos ocorrerem em regiões com maiores concentrações de matrizes antrópicas na paisagem e uma tendência de diminuição destas taxas de atropelamentos em paisagens com manchas de habitat florestal.

Com base nos atropelamentos, a matriz parece ser usada por *Cerdocyon thous*, ao menos, temporariamente para atravessar entre manchas de habitat (Bueno *et al.*, 2015; Ascensão *et al.*, 2017), deste modo, em ambientes fragmentados a espécie está mais susceptível aos atropelamentos.

Outro fator que merece ser levantado é a relação com a distância a corpos d'água, já é conhecido e discutido na literatura que os atropelamentos possam ocorrer em maior

frequência próximos a corpos d'água (Freitas *et al.* 2015), pois os animais se locomoveriam por matas ciliares que acompanham rios e riachos e seriam mais atropelados próximos a estas localidades, entretanto para *C. thous* a lógica parece se inverter, em uma rodovia no interior de SP, na transição entre o bioma Cerrado e Mata Atlântica, um estudo de monitoramento de passagens de fauna revelou que *Cerdocyon thous* evita realizar travessias por passagens de fauna com água (Abra, 2012), isto seria um fator que pode corroborar para nossos modelos com distância de corpos d'água, indicando que aparentemente ela evita áreas úmidas ou com rios e riachos.

Acreditamos que *Cerdocyon thous* tenha expandido sua área de ocorrência para regiões desmatadas na Amazônia, assim como foi encontrado na expansão de *Chrysocyon brachyurus* (lobo-guará) no estado do Rio de Janeiro usando áreas abertas pelo desmatamento da Mata Atlântica (Bereta *et al.*, 2017) uma vez que referências históricas não trazem a ocorrência do animal com grande representatividade no bioma (BERTA, 1982). Deste modo, analisamos preliminarmente o conjunto de dados de atropelamentos e de ocorrências do GBIF (2018) dentro da Amazônia brasileira, e notamos (Figura 4) que a ocorrência de *C. thous* vai além do proposto pela IUCN, entretanto os pontos de ocorrência se dão em sua grande maioria em regiões que não há mais floresta amazônica conservada, mas sim extensas áreas de terra convertidas em agropecuária e fragmentadas.

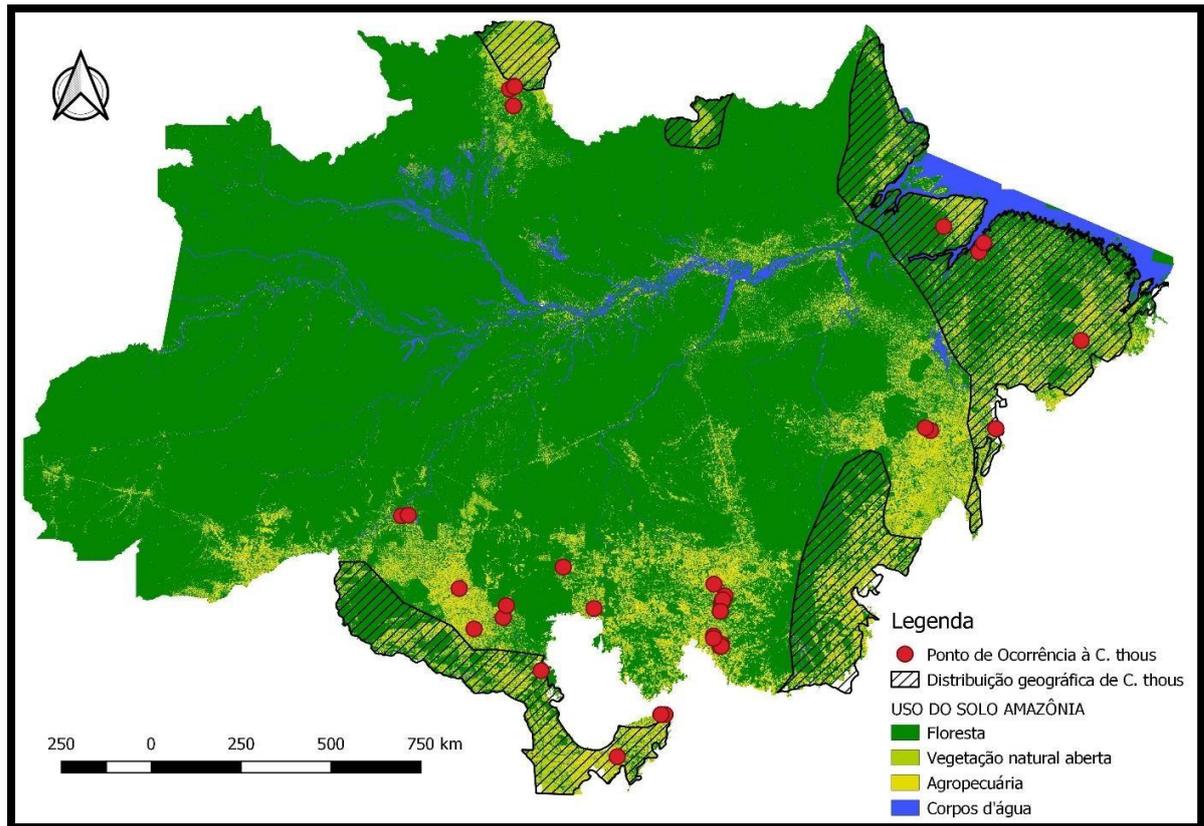


Figura 5 - Ocorrências de *Cerdocyon thous* dentro da Amazônia e fora da área de distribuição da espécie. Os pontos se concentram em regiões onde a floresta já foi convertida em agropecuária.

De modo geral, *C. thous* aparenta ser um dos mamíferos silvestres mais atropelados em território nacional por uma série de fatores, que vão desde ser um animal com ampla distribuição, facilmente encontrando na maior parte do território brasileiro e também por ser uma animal generalista, que aparentemente ocorre em áreas degradadas, fragmentadas e até mesmo matrizes de cultivo como agropecuária, onde justamente se concentram as maiores densidades de estradas, acarretando no atropelamento e maior mortalidade do animal.

COSIDERAÇÕES FINAIS

Estes resultados nos permitem discutir a importância de manchas ou matrizes para entender os atropelamentos de *Cerdocyon thous*. Notadamente há uma tendência de ocorrerem atropelamentos em regiões com maiores proporções de matrizes antrópicas na paisagem e uma inversão desse cenário na presença de manchas de habitat. Podemos

elencar deste modo as matrizes como o componente mais importante para prever os atropelamentos destas espécies da fauna silvestre. Diferentemente do que pensam a maioria dos conservacionistas as espécies de animais silvestres não se restringem somente a paisagens conservadas, exclusivamente com vegetação nativa, mas ocorrem também em áreas degradadas e de uso antrópico. Entretanto este cenário pode ser discutido, pois *Cerdocyon thous* é uma espécie generalista, o que pode justificar sua ocorrência em ambientes degradados.

Cerdocyon thous, que aparenta ser a espécie de mamífero mais atropelada em território nacional, tem a agropecuária e hidrografia como fatores predominantes nos modelos melhores selecionados, cenário que pode representar uma maior necessidade do animal se movimentar na paisagem à procura de recursos, uma vez que o seu habitat está fragmentado e quando se locomove aumentam as chances de encontrar estradas e ocorrerem atropelamentos. Pode representar ainda uma abertura de nicho ecológico, afinal *C. thous* é uma espécie que ocorre também áreas abertas, e com o avanço da matriz de agricultura na paisagem o animal possa talvez ter expandido sua área de vida e seu comportamento de movimentação, podendo potencializar suas taxas de atropelamentos. Assim como foi encontrado na expansão de *Chrysocyon brachyurus* (lobo-guará) no estado do Rio de Janeiro usando áreas abertas pelo desmatamento da Mata Atlântica, acreditamos que *Cerdocyon thous* tenha expandido sua área de ocorrência para regiões desmatadas na Amazônia devido à conversão do bioma em modelos agricultáveis e pastagens de pecuária. Nossos modelos apontam a relação entre os atropelamentos à *C. thous* e as características da paisagem ligadas a agropecuária, e ao observamos as ocorrências de *Cerdocyon thous* dentro da Amazônia, elas são congruentes com o uso antrópico, demonstrando uma possível homogeneização de fauna e flora. Grande parte dos avanços da matriz antrópica pelos biomas naturais se dão através de eixos centrais de

estradas e rodovias, estando portanto as estradas altamente ligadas a degradação dos sistemas continentais, afetando a distribuição das espécies. No caso de *C. thous* as matrizes parecem ser um fator para sua ocorrência e também para sua mortalidade em rodovias, o que pode gerar desde acidentes rodoviários envolvendo a espécie, até mesmo modificações nos hábitos naturais desta espécie e de outras, que eventualmente tenham interações com *Cerdocyon thous*.

SUPORTE

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (**FAPESP**) pelo financiamento de nossa pesquisa, na modalidade Iniciação Científica através do processo nº **16/12785-0**. Agradecemos à equipe e à iniciativa do MapBiomias, pelo fornecimento dos mapas produzidos de uso e ocupação do solo, responsáveis pelo bom andamento e precisão das análises de nossa pesquisa. Agradecemos ainda aos colaboradores que nos cederam dados de atropelamentos à *C. thous* em todo o território nacional: Arnaud Desbiez; Janaína Casella; Andreas Kindel; Fernanda Teixeira; Carlos Freitas; Fernando Ascensão; Sidnei Dornelles.

Este trabalho é um recorte do projeto de Iniciação Científica de Douglas W. Cirino, financiado pela FAPESP (processo nº **16/12785-0**) e parte do trabalho de conclusão de curso de graduação no Bacharelado em Ciências Biológicas do aluno na Universidade Federal do ABC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRA, Fernanda Delborgo. Monitoramento e avaliação das passagens inferiores de fauna presentes na rodovia SP-225 no município de Brotas, São Paulo. 2012. *Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.*

- ARIMA, Eugenio Y. *et al.* Explaining the fragmentation in the Brazilian Amazonian forest. *Journal of Land Use Science*, v. 11, n. 3, p. 257-277, 2016.
- Ascensão, F., Desbiez, A.L.J., Medici, E.P., Bager, A. (2017). Spatial patterns of road mortality of medium-large mammals in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Wildlife Research*, A-L.
- Beisiegel, B. M., Lemos, F. G., Azevedo, F. C., Queirolo, D., Jorge, R. S. P. (2013) Avaliação do risco de extinção do Cachorro-do-mato *Cercopithecus thous* (Linnaeus, 1766) no Brasil. *Biodiversidade Brasileira*, 3(1), 138-145.
- Bereta, A.; Freitas, S. R. ; Bueno, C. (2017) Novas ocorrências de *Chrysocyon brachyurus* (Carnivora) no estado do Rio de Janeiro indicando a expansão de sua distribuição geográfica. *BOLETIM DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MASTOZOLOGIA*, v. 78, p. 5-8.
- BERTA, Annalisa. *Cercopithecus thous*. *Mammalian species*, n. 186, p. 1-4, 1982.
- BOWERS, Michael A.; MATTER, Stephen F. Landscape ecology of mammals: relationships between density and patch size. *Journal of Mammalogy*, v. 78, n. 4, p. 999-1013, 1997.
- Bueno, C., Sousa, C. O. M., Freitas, S. R. (2015) Habitat or matrix: which is more relevant to predict road-kill of vertebrates? *Brazilian Journal of Biology*, 75(4), 228-238.
- Burnham, K. P., Anderson, D. R. (2002) *Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach*. Springer, New York, 496p.
- CÁCERES, Nilton C. Biological characteristics influence mammal road kill in an Atlantic Forest–Cerrado interface in south-western Brazil. *Italian Journal of Zoology*, v. 78, n. 3, p. 379-389, 2011.
- Carvalho, C. F., Iannini Custódio, A. E., Marçal Junior, O. (2015) Wild vertebrates roadkill aggregations on the BR-050 highway, state of Minas Gerais, Brasil. *Biosci. J.*, Uberlândia, 31 (3), 951-959.
- CBEE, Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas. (2016a) Atropelômetro. Disponível em <<http://cbee.ufla.br/portal/atropelometro/>>. Acessado em 11/04/2016.
- CBEE, Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas. (2016b) Urubu Map. Disponível em: <http://cbee.ufla.br/portal/sistema_urubu/urubu_map.php>. Acessado em 11/04/2016.
- Cheida, C. C., *et al.* Ordem Carnívora. In: Reis, N. R. (2006) *Mamíferos do Brasil*. Londrina, Ed. Universidade Estadual de Londrina – PR. Pg.231-275.
- Cherem, J.J.; Kammers, M.; Ghizoni-Jr, I.R. & Martins, A. (2007). Mamíferos de médio e grande porte atropelados em rodovias do Estado de Santa Catarina, sul do Brasil. *Revista Biotemas*, 20, 81-96.

- Coelho, I. P., Kindel, A., Coelho, A. V. P. (2008) Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research*, 54, 689-699.
- Coffin, A. W. (2007) From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15, 396-406.
- Cunha, H. F. *et al.* Roadkill of wild vertebrates along the GO-060 road between Goiânia and Iporá, Goiás State, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. Maringá, v. 32, n. 3, p. 257-263, 2010.
- Dornas, R. A. P.; Kindel, A.; Bager, A.; Freitas, S. R. (2012) Avaliação da mortalidade de vertebrados em rodovias no Brasil. In: Bager, A. (Ed.). *Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas*. Lavras, Ed. UFLA, Pp. 139-152.
- Ferreira, C. M. M. Variação espacial de atropelamentos de mamíferos em área de restinga no estado do Espírito Santo, Brasil. *Neotropical Biology and Conservation* 9(3):125-133, 2014.
- Forman, R. T. T.; Alexander, L. E. (1998) Roads and their major ecological effects. *Annual Reviews in Ecology & Systematics*, 29, 207-231.
- Forman, R.T.T., D. Sperling, J.A. Bissonette, A.P. Clevenger, C.D. Cutshall, V.H. Dale, L. Fahrig, R. France, C.R. Goldman, K. Heanue, J.A. Jones, F.J. Swanson, T. Turrentine & T.C. Winter. (2003). *Road ecology: science and solutions*. Island Press, Washington, 481p.
- Freitas, C. H., Justino, C. S., Setz, E. Z. F. (2014) Road-kills of giant anteater in southeastern Brazil: 10 years monitoring spatial and temporal determinants. *Wildlife Research*, 41, 673–680
- Freitas, S. R., Oliveira, A. N., Ciocheti, G., Vieira, M. V., Matos, D. M. S. (2015) How landscape features influence road-kill of three species of mammals in the Brazilian savanna. *Oecologia Australis* 18, 35-45.
- Freitas, S. R., Sousa, C. O. M., Boscolo, D., Metzger, J. P. (2013) How are native vegetation and reserves affected by different road types in southeastern Brazilian state? *Oecologia Australis*, 14(4), 447-458.
- Fuentes-Montemayor, E., Cuarón, A. D., Vázquez-Domínguez, E., Benítez-Malvido, J., Valenzuela-Galván, D., & Andresen, E. (2009). Living on the edge: roads and edge effects on small mammal populations. *Journal of Animal Ecology*, 78(4), 857-865.
- GBIF.org (5th August 2018) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.ovja8b>
- HUIJSER, Marcel Pieter; ABRA, Fernanda Delborgo; DUFFIELD, John W. 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*, v. 17, n. 1, p. 129-146, 2013.

IUCN (2014) The IUCN Red List of Threatened Species: *Myrmecophaga tridactyla* – published in 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20141.RLTS.T14224A47441961.en>.

Acessado em 11/04/2016.

IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018-1. www.iucnredlist.org. Downloaded on **05 August 2018**.

KELLER, Irene; LARGIADER, Carlo R. Recent habitat fragmentation caused by major roads leads to reduction of gene flow and loss of genetic variability in ground beetles. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, v. 270, n. 1513, p. 417-423, 2003.

Laurance, W. F.; 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.

Lemos, F.G.; Azevedo, F.C.; Costa, H.C.M. & May Junior, J.A. (2011). Human threats to hoary and crab-eating foxes in Central Brazil. *Canid News*, 14.2 [online] http://www.canids.org/canidnews/14/Hoary_and_crab-eating_foxes_in_Brazil.pdf

MACHADO, Fabio De A.; HINGST-ZAHER, Erika. Investigating South American biogeographic history using patterns of skull shape variation on *Cerdocyon thous* (Mammalia: Canidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, v. 98, n. 1, p. 7784, 2009.

MAYNARD, Ross J. *et al.* Road-edge effects on herpetofauna in a lowland Amazonian rainforest. *Tropical Conservation Science*, v. 9, n. 1, p. 264-290, 2016.

Medri, I. M., *et al.* Ordem Xenarthra. In: Reis, N. R. (2006) *Mamíferos do Brasil. Londrina, Ed. Universidade Estadual de Londrina – PR*. Pp. 71-99.

Metzger, J. P. (2001). O que é ecologia de paisagem? *Biota Neotropica* v.1 (n.1) [online] <http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/fullpaper?bn00701122001+pt>

METZGER, J. P. 1999. Estrutura da paisagem e fragmentação: Análise bibliográfica. In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Rio de Janeiro. V.71, n.3-1, p.445-463.

MURCIA, Carolina. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in ecology & evolution*, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.

OTTO, Rüdiger *et al* (2014) Road Edge Effect and Elevation Patterns of Native and Alien Plants on an Oceanic Island (Tenerife, Canary Islands). *Folia Geobot* 49:65–82

- PERZ, Stephen G. *et al.* Unofficial road building in the Amazon: socioeconomic and biophysical explanations. *Development and Change*, v. 38, n. 3, p. 529-551, 2007.
- Prada, C.S. (2004). Atropelamento de vertebrados silvestres em uma região fragmentada do nordeste do Estado de São Paulo: quantificação do impacto e análise dos fatores envolvidos. *Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais)*, Universidade Federal de São Carlos. 147p.
- Projeto MapBiomas – Coleção 2.3 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em agosto de 2018 através do link: mapbiomas.org
- Rezini, J.A. (2010). Atropelamento de mamíferos em rodovias do leste dos Estados do Paraná e Santa Catarina, Sul do Brasil. *Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação)*. Universidade Federal do Paraná, 50 p.
- RICKLEFS, Robert E. A economia da natureza. In: *A economia da natureza*. 2003.
- Roedenbeck, I.A., L. Fahrig, C.S. Findlay, J.E. Houlahan, J.A.G. Jaeger, N. Klar, S. Kramer-Schadt & E.A. Van der Grift. (2007). Rauschholzhausen-agenda for road ecology. *Ecology and Society* 12, 11 [online]
<http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art11/>
- Rosa, A.O. & Mauhs, J. (2004). Atropelamento de animais silvestres na rodovia RS-040. *Caderno de Pesquisa Série Biologia*, 16(1), 35-42.
- Rosa, C. A.; Bager, A. (2013) Review of the factors underlying the mechanisms and effects of roads on vertebrates. *Oecologia Australis*, 17(1), 6-19.
- Sunnucks, P., Balkenhol, N. (2015) Incorporating landscape genetics into road ecology. Pp. 110-118. In: R. Van der Ree, D.J. Smith & C. Grilo. *Handbook of Road Ecology*. Wiley Blackwell, Chichester.
- TEIXEIRA, Fernanda Zimmermann *et al.* Vertebrate road mortality estimates: effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*, v. 157, p. 317-323, 2013.
- TCHAICKA, Ligia *et al.* Phylogeography and population history of the crab-eating fox (*Cerdocyon thous*). *Molecular Ecology*, v. 16, n. 4, p. 819-838, 2007.
- TURCI, Luiz Carlos Batista; BERNARDE, Paulo Sérgio. Vertebrados atropelados na rodovia estadual 383 em Rondônia, Brasil. *Biotemas*, v. 22, n. 1, p. 121-127, 2009.
- Turner, M. G., Gardner, R. H., O'Neill, R. V. (2001) *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. New York, Springer-Verlag, 404 p.
- Trovati, R. G., de Brito, B. A., & Barbanti Duarte, J. M. (2007). Área de uso e utilização de habitat de cachorro-do-mato (*Cerdocyon thous* Linnaeus, 1766) no cerrado da região central do Tocantins, Brasil. *Mastozoología neotropical*, 14(1), 61-68

Van der Ree, R., Jaeger, J.A.G., Van der Grift, E.A., Clevenger, A.P. (2011) Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: Road Ecology is moving toward larger scales. *Ecology and Society* 16: 48. [online] <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art48/>

Van der Ree, R., Smith, D. J., Grilo, C. (2015) *Handbook of Road Ecology*. Chichester, John Wiley & Sons, 522 p.

Vieira, E.M. (1996). Highway mortality of mammals in central Brazil. *Ciência e Cultura*, 48, 270-272.