

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 10/12/2019.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(ZOOLOGIA)**

**EFEITO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS E PERTURBAÇÕES ANTRÓPICAS
SOBRE O COMPORTAMENTO ANIMAL**

Calebe Pereira Mendes

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas (Zoologia).

Dezembro - 2018

CALEBE PEREIRA MENDES

EFEITO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS E PERTURBAÇÕES ANTRÓPICAS SOBRE O
COMPORTAMENTO ANIMAL

Tese apresentada ao Instituto de Biociências
do Campus de Rio Claro, Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Doutor em Ciências Biológicas
(Zoologia).

Orientador: Prof. Dr. Mauro Galetti

Rio Claro, SP

2018

M538e Mendes, Calebe Pereira
 Efeito de variáveis ambientais e perturbações antrópicas
 sobre o comportamento animal / Calebe Pereira Mendes.
 -- Rio Claro, 2018
 96 p. : tabs., fotos, mapas

 Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
 (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro
 Orientador: Mauro Galetti

 1. Zoologia. 2. Comportamento animal. 3. Ecologia. 4.
 Conservação. 5. Mamíferos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

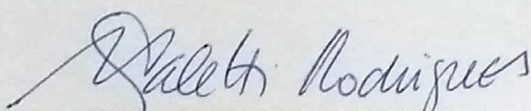
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: EFEITOS DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS E PERTURBAÇÕES ANTRÓPICAS SOBRE O COMPORTAMENTO ANIMAL

AUTOR: CALEBE PEREIRA MENDES

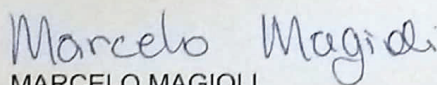
ORIENTADOR: MAURO GALETTI RODRIGUES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA), pela Comissão Examinadora:



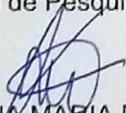
Prof. Dr. MAURO GALETTI RODRIGUES

Departamento de Ecologia / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP



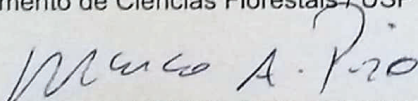
Prof. Dr. MARCELO MAGIOLI

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Carnívoros / CENAP/ICMBio



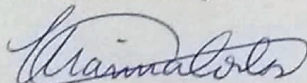
Profa. Dra. KATIA MARIA PASCHOALETTO MICCHI DE BARROS FERRAZ

Departamento de Ciências Florestais / USP - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Piracicaba/SP



Prof. Dr. MARCO AURELIO PIZO FERREIRA

Departamento de Zoologia / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP



Profa. Dra. MARINA CORREA CORTES

Departamento de Ecologia / UNESP

Rio Claro, 10 de dezembro de 2018

Dedico este trabalho a Deus e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o único, pelo dom da vida, pela saúde e pela oportunidade de ver e testemunhar Sua glória. A Jesus, o Cristo, pela salvação e reconciliação através de Seu santo sangue. E ao Santo Espírito de Deus, por me guiar nas incontáveis noites em que minha mente debatia entre os métodos científicos e teológicos, e por me ensinar como ambos os métodos podem ser conciliados de forma lógica e racional, através de métodos filosóficos aceitos pela comunidade acadêmica. E de fato, como é bela e completa a cosmovisão resultante!

Agradeço a meus pais, Marcos e Rute, e a minha preciosa irmã Débora pelo constante incentivo em buscar o conhecimento. Mesmo estando longe, sempre pude contar com eles. Agradeço a minha família, em Cascavel-PR, Fortaleza-CE, e várias outras localidades do Brasil e do mundo. É uma família geograficamente dispersa, mas muito próxima em união. Agradeço também a Ashwin Naidu, Abhipsha Chatterjee, Alex Ochoa e Betzy por me receberem e tratarem tão bem durante o ano em que morei no Arizona, E.U.A., vocês se tornaram parte de minha família.

Agradeço aos muitos amigos que fazem ou fizeram parte do LABIC e do LEEC, e a muitos outros espalhados por toda a UNESP. Aos amigos e professores Mauro Galetti, Miltinho e John Koprowski que foram particularmente importantes em minha formação. E ao Sérgio, o Super Técnico de Campo, capaz de trabalhar, cozinhar, organizar e ainda fazer piada, tudo ao mesmo tempo!

Agradeço aos membros da República Sedex 10, sem dúvida a república mais pacata e tranquila que já conheci. Se não fosse pelo café preparado de manhã por vocês, talvez esta tese não tivesse sido concluída. Agradeço a comunidade da Igreja Batista do Calvário que me ensinaram muito e me arrastaram em diversas aventuras pelo estado de São Paulo. Sou testemunha do mover de Deus sobre a vida de vocês, e de sua boa conduta como cristãos.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CAPES (processo 168080/2014-1), e a FAPESP (processos 2014/01986-0, 2014/09300-0, 2014/23095-0, 2015/22844-1 e 2015/18381-6). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Quanto mais eu estudo a natureza, mais ainda
eu fico maravilhado com a obra do Criador...

Ciência aproxima o homem de Deus”

Louis Pasteur

RESUMO

O comportamento de uma determinada espécie define a forma e intensidade das interações desta para com o ambiente, com muitas espécies ajustando suas estratégias comportamentais de acordo com o contexto físico e biológico ao seu redor. No entanto, o processo de tomada de decisões, intrínseco a qualquer sistema comportamental, requer que o organismo possua a capacidade de obter, interpretar e processar informações úteis. Devido à grande magnitude e novidade evolutiva dos distúrbios antrópicos, estes são capazes de interferir no processo cognitivo das espécies, interferindo na percepção e avaliação das informações necessárias para a tomada de decisões eficientes, e dessa forma, gerando comportamentos não adaptativos, aumento de mortalidade e interferências nas interações ecológicas das espécies. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a ocorrência de plasticidade comportamental, em diversas espécies modelo, em resposta a fatores ambientais e atividades antrópicas. Foram realizados dois capítulos experimentais e um capítulo de revisão. O primeiro capítulo foi desenvolvido no Arizona, E.U.A., e avaliou o volume de alimentos estocados pelo esquilo-vermelho-de-Graham *Tamiasciurus fremonti grahamensis* em resposta a variáveis climáticas, de relevo e vegetação. Foi observado que apenas as fêmeas responderam a variações no relevo e vegetação, mas não a variáveis climáticas, enquanto os machos não responderam a nenhuma variável testada. O segundo capítulo, desenvolvido em São Paulo, Brasil, avaliou o efeito de perturbações antrópicas variadas sobre a atividade circadiana de 17 espécies de mamíferos florestais. Foi observado que 7 espécies responderam a perturbação antrópica, se tornando em média 20% mais noturnas em áreas perturbadas. Tanto espécies diurnas quanto noturnas se tornaram mais noturnas em resposta a perturbações, sendo que espécies caçadas e perseguidas se tornaram mais noturnas do que espécies não caçadas. O terceiro capítulo foi planejado como uma comparação entre o esquilo-vermelho-de-Graham e um esquilo brasileiro, o *Guerlinguetus brasiliensis*, no entanto, devido à escassez de informações da história natural da segunda espécie, decidiu-se por mapear o atual estado da informação disponível sobre a ecologia de esquilos neotropicais. Assim, foram encontradas 155 publicações, de 15 países, com dados de ecologia para 20 espécies de esquilos que interagiram com 351 outras espécies. Foi observado que esquilos neotropicais tendem a apresentar maiores densidades populacionais em florestas fragmentadas. Também identificamos diversas partes da história natural do táxon que são virtualmente desconhecidas, como por exemplo, a composição da dieta de esquilos dos gêneros *Sciurillus* e *Microsciurus*.

Palavras chave: Zoologia, Comportamento animal, Ecologia, Conservação, Mamíferos.

ABSTRACT

The behavior of a given species defines the style and intensity of its interactions with the environment, with several species adjusting their behavioral strategies in response to the physical and biological circumstances. However, the decision-making process, intrinsic of any behavioral system, requires the organism to be able to obtain, interpret and process useful information. Due to the large scale and evolutive novelty of the anthropic disturbances, they are able to interfere in the cognitive processes of the species, disrupting the perception and evaluation of the information needed to efficient decision-making, and therefore, cause non-adaptative behaviors, increase in mortality and effects on species ecological interactions. This way, the objective of this study is to evaluate the occurrence of behavioral plasticity, in several model species, in response to environmental factors and anthropic activities. Two experimental chapters and one literature revision was performed. The first chapter was developed in Arizona, U.S.A., and evaluate the amount of food cached by the Mt. Graham red squirrel *Tamiasciurus fremonti grahamensis* in response to variables of climate, relief and vegetation. It was found that only the females did respond to relief and variations in relief and vegetation, but not climate, while males did not respond to any examined variable. The second chapter, developed in São Paulo, Brazil, evaluate the effect of general anthropic disturbances on diel activity of 17 forest dwelling mammal species. We detected 7 species becoming more nocturnal in response to anthropic disturbance, with a mean nocturnality increase of 20% in disturbed areas. Both diurnal and nocturnal species become more nocturnal, whereas the poached and persecuted species become more nocturnal than non-poached species. The third chapter was designed as a comparison between the Mt. Graham red squirrel and a Brazilian squirrel, the *Guerlinguetus brasiliensis*, however, due to the scarcity of natural history information, we decided to map the actual state of knowledge availability about neotropical squirrels. This way, we found 155 publications, from 15 countries, with ecological data for 20 squirrel species, which interacted with 352 other species. We recorded an increase of squirrel population densities in fragmented forests. We also identified several areas of the taxa natural history which are virtually unknown, such the composition of diet of the *Sciurillus* and *Microsciurus* genera.

Key words: Zoology, Animal behavior, Ecology, Conservation, Mammals

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	10
2. DOES CACHING STRATEGY VARY WITH MICROCLIMATE IN ENDANGERED MT. GRAHAM RED SQUIRRELS?	19
2.1 Abstract	19
2.2 Introduction	20
2.3 Methods	21
2.4 Results	25
2.5 Discussion	29
2.6 Literature cited	31
3. LANDSCAPE OF HUMAN FEAR IN NEOTROPICAL RAINFOREST- DWELLING MAMMALS	37
3.1 Abstract	37
3.2 Introduction	38
3.3 Methods	40
3.4 Results	43
3.5 Discussion	46
3.6 Literature cited	50
3.7 Supplementary Material	57
4. NEOSQUIRREL - a dataset of the ecological knowledge on Neotropical squirrels ...	58
4.1 Abstract	58
4.2 Introduction	59
4.3 Methods	62
4.4 Results and Discussion	64
4.4.1 <i>Population estimates</i>	64
4.4.2 <i>Ecological interactions</i>	66
4.4.3 <i>Squirrel species</i>	70
4.4.4 <i>Diet</i>	72
4.4.5 <i>Seed dispersal</i>	74
4.4.6 <i>Resources</i>	75
4.4.7 <i>Non-aggressive interactions</i>	76
4.4.8 <i>Agonistic interaction</i>	76
4.4.9 <i>Parasitic interactions</i>	77
4.4.10 <i>Predation</i>	78
4.5 Conclusion	79
4.6 References	81
4.7 Supplementary material	89
5. CONCLUSÃO GERAL	95

1. INTRODUÇÃO GERAL

Animais sempre possuem decisões a tomar. Decisões sobre quando estar ativo e quando se recolher ao abrigo (KRONFELD-SCHOR; DAYAN, 2003), sobre onde procurar e quais alimentos consumir (BANACK, 1998), sobre o quanto é aceitável se expor a predadores (VERDOLIN, 2006). A todo momento, existem decisões a serem tomadas, até mesmo sobre se o indivíduo deve continuar uma determinada atividade ou parar e engajar em uma nova atividade. As consequências dessas decisões, por mais simples que sejam, podem se refletir na eficiência de forrageamento, sobrevivência (VERDOLIN, 2006) e no *fitness* dos indivíduos (EGGERS et al., 2006; WEISER; POWELL, 2010). Por este motivo, através da seleção natural, várias espécies se tornaram surpreendentemente eficientes em tomar decisões. Por exemplo, o melro-preto *Turdus merula*, na Grã-Bretanha, é capaz de estimar e comparar o risco de mortalidade por predação e por hipotermia, de modo que durante o inverno, quando hipotermia é a principal ameaça, a ave consome toda sua necessidade energética diária tão cedo quanto possível, mesmo quando o sobrepeso do alimento reduz a agilidade de voo, tornando a ave mais susceptível a predadores. Por outro lado, nas demais estações do ano, quando a demanda energética é reduzida e o risco de hipotermia é baixo, predação se torna a principal ameaça, e a ave se alimenta em duas seções de forrageio ao longo do dia, mantendo sempre um peso reduzido, maior agilidade de voo e menor susceptibilidade a predação (MACLEOD et al., 2005).

No entanto, as espécies tendem a ser eficientes apenas para tomar decisões para as quais estão preparadas através do processo evolutivo, uma vez que possuem o aparato cognitivo necessários para realizar tais decisões, mas costumam ser incapazes ou pouco eficientes em tomar decisões acerca de problemas para qual não foram expostos em seu passado evolutivo (ROBERTSON; REHAGE; SIH, 2013). Por exemplo, girinos de rã-ágil *Rana dalmatina*, engajam em comportamentos defensivos ao detectar pistas químicas da presença de predadores nativos, mas não em resposta a pistas químicas da presença de predadores alopáticos (HETTYEY et al., 2016). Isso acontece porque a cognição (i.e. os processos neurais envolvidos na aquisição, armazenamento e uso de informação) requer complexas estruturas neurais, sendo fisiologicamente cara em termos de energia necessária para manutenção dessas estruturas (ISLER; VAN SCHAIK, 2006). Desse modo, é necessário que haja um retorno em *fitness* para que tais funções evoluam ou sejam mantidas via seleção natural (DUKAS, 2004).

O mecanismo pela qual a capacidade cognitiva afeta o fitness das espécies, é através de seu efeito sobre o repertório comportamental destas (DUKAS, 2004). Visto que o comportamento das espécies define como estas interagem com o meio ambiente, possuir um repertório comportamental plástico e capaz de lidar com situações adversas facilita a sobrevivência da espécie (SOL; LAPIEDRA; GONZÁLEZ-LAGOS, 2013). Por exemplo, a paca *Cuniculus paca* e o tatus *Dasyopus* spp. ajustam sua atividade em resposta ao ciclo lunar, reduzindo o forrageamento e evitando as noites de lua cheia, período associado a um maior risco de predação (Prugh & Golden 2014, mas ver Pratas-Santiago et al. 2017). De modo semelhante, o Chapim-azul *Parus caeruleus*, ajusta o período reprodutivo de modo a coincidir com o pico de abundância de alimento, que é estimado a partir da abundância de alimento ao longo do ano anterior (GRIECO; VAN NOORDWIJK; VISSER, 2002).

A plasticidade comportamental também pode ser extremamente importante ao permitir que espécies permaneçam, e por vezes até prosperem, em ambientes alterados por atividade antrópica (SOL; LAPIEDRA; GONZÁLEZ-LAGOS, 2013). Como exemplo, a escrevedeira-dos-caniços *Emberiza schoeniclus* é capaz de alterar a frequência do canto, tornando-o mais agudo e reconhecível em meio a ruído de fontes antrópicas, tornando a frequência mais baixa e adequada a ambientes naturais quando o ruído é removido (GROSS; PASINELLI; KUNC, 2010). Outras espécies, como a gaivota-hiperbórea *Larus hyperboreus* obtém incrementos em fitness ao incluir alimentos de fontes antrópicas (i.e. lixo) em suas dietas (WEISER; POWELL, 2010). No entanto, apesar da importância da plasticidade comportamental como um mecanismo capaz de aliviar as consequências das atividades antrópicas sobre a fauna, em muitos casos as pressões antrópicas não podem ser compensadas por alterações comportamentais, excedendo os limites que a espécie é capaz de tolerar (WONG; CANDOLIN, 2015) ou confundindo os próprios meios pela qual essa obtém as informações necessárias para tomar de decisões (ROBERTSON; REHAGE; SIH, 2013).

Devido ao fato de, em termos evolutivos, diversas atividades antrópicas serem novidades, estas são capazes de confundir ou interferir na capacidade de decisão dos animais, gerando decisões não adaptativas e por vezes comportamentos extremamente contraprodutivos (ROBERTSON; REHAGE; SIH, 2013; SCHLAEPFER; RUNGE; SHERMAN, 2002). Por exemplo, filhotes recém eclodidos de diversas espécies de tartarugas marinhas utilizam fototaxia para encontrar o mar, mas acabam confundidos pela presença de

iluminação artificial nas praias e morrem por desidratação ou para predadores após vagarem em direção ao continente (WITHERINGTON; MARTIN, 1996). O consumo acidental de plástico, um material sintético, confundido por presas naturais, como águas-vivas, também tem levado a mortalidade em inúmeras espécies marítimas (WILCOX; VAN SEBILLE; HARDESTY, 2015). Distúrbios antrópicos de grandes escalas espaciais, como o aquecimento global (IPCC, 2014) tem degradado a histórica sincronia entre o pico de disponibilidade de alimentos e a data de migração e reprodução de aves (BOTH et al., 2006), e mamíferos (POST; FORCHHAMMER, 2008), gerando reduções nas populações. E a poluição luminosa, altera o padrão de atividade circadiana e a percepção de risco por várias espécies (GASTON et al., 2013).

Dessa forma, considerando a importância da cognição e do comportamento sobre a ecologia e resiliência das espécies animais, assim como as graves consequências das interferências nessas funções, o objetivo geral desta tese é: Avaliar a ocorrência de plasticidade comportamental, em diversas espécies modelo, em resposta a fatores ambientais e atividades antrópicas. Para isso, foram desenvolvidos dois capítulos experimentais e uma revisão.

O primeiro capítulo, denominado “Does caching strategy vary with microclimate in endangered Mt. Graham red squirrels?”, foi desenvolvido entre Abril de 2015 e Abril de 2016, no Arizona, Estados Unidos da América, em colaboração com o Conservation Research Laboratory da University of Arizona. O capítulo tem como objetivo avaliar a ocorrência de plasticidade no comportamento de estoque de alimento do esquilo-vermelho-de-Graham *Tamiasciurus fremonti grahamensis* (Figura 1), em resposta a variáveis climáticas. Diversas variáveis de clima, relevo e vegetação foram medidas, e o volume de alimento estocado pelos esquilos foi estimado. Foi observado plasticidade no volume de alimento estocado por fêmeas, mas não por machos. No entanto, apesar da plasticidade comportamental observado nas fêmeas, ela ocorreu apenas em resposta a variáveis de relevo e vegetação, mas não de clima. Um resultado preocupante visto que a espécie já está sob stress climático, e há previsões para futuro aquecimento da região devido a mudanças climáticas (IPCC, 2014). O manuscrito deste capítulo foi submetido ao periódico Journal of Mammalogy.



Figura 1: Esquilo-vermelho-de-Graham, *Tamiasciurus fremonti grahamensis*, uma subespécie do Esquilo-vermelho-norte-americano endêmico das montanhas Pinalenõ, no Arizona, E.U.A.. A única população desta subespécie compõe o limite sul da distribuição da espécie, e historicamente gira em torno dos 300 indivíduos, embora um incêndio florestal em 2017 os reduziu a cerca de 35 indivíduos. Foto tirada pelo autor.

O segundo capítulo, denominado “Landscape of human fear in Neotropical rainforest-dwelling mammals”, foi desenvolvido no estado de São Paulo e avalia o efeito de perturbações antrópicas diversas nos padrões de atividade circadiana de 17 espécies de mamíferos. Para isso, utilizou-se um extenso banco de dados de câmeras-trap, coletado de 2012 a 2018, ao longo de todo o estado de São Paulo e coletado por diversos membros e colaboradores do LABIC. Mapas de emissividade de luz durante a noite, obtidas por satélite (EOG, 2018), foram utilizadas para gerar um índice de perturbação humana. Através desses dados, observou-se que 7 das 18 espécies de mamíferos florestais testadas se tornaram mais noturnas em áreas perturbadas (Figura 2). Tanto espécies noturnas quanto diurnas ficaram mais noturnas em resposta a perturbação humana, e nenhuma espécie foi observada se tornando mais diurna. A caça e poluição luminosa parecem ser os principais mecanismos afetando os resultados obtidos. O manuscrito do segundo capítulo foi submetido a Biological Conservation.

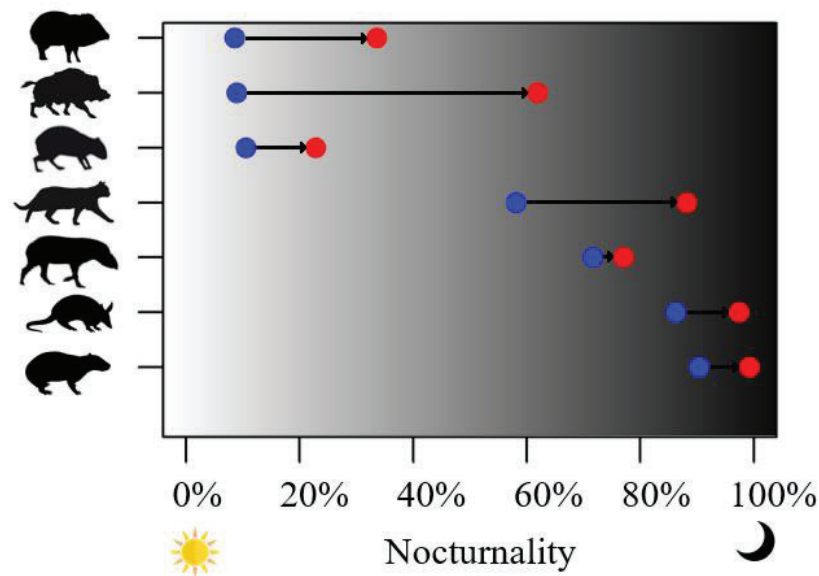


Figura 2: Principal resultado do segundo capítulo, mostrando diferenças no nível de noturnidade de várias espécies entre áreas preservadas e perturbadas, em azul e vermelho respectivamente.

O terceiro capítulo, no entanto, possui uma temática diferente aos demais, pois foi desenvolvido em resposta a escassez de dados de história natural que impediram o desenvolvimento de um capítulo comparativo entre o comportamento do esquilo-vermelho-de-Graham (endêmico do Arizona, E.U.A.) e do caxinguelê *Guerlinguetus brasiliensis*, que é endêmico do Brasil. Constatada a escassez de informações básicas sobre a história natural de Sciurídeos neotropicais, decidiu-se por realizar uma revisão da literatura, denominada “NEOSQUIRREL: a dataset of the ecological knowledge on Neotropical squirrels”. Esta revisão, não apenas aglomera a pouca informação disponível em um único lugar, facilitando trabalhos futuros, mas também identifica as áreas do conhecimento já estudadas e as que carecem de estudos, apontando as direções prioritárias para estudos futuros. A revisão, submetida para a Mammal Review, sumariza informações provenientes de 155 artigos, publicados entre 1947 e 2017, registrando 649 interações ecológicas entre 20 espécies de esquilos e 351 outras espécies, em 15 países neotropicais (Figura 3). Todos os dados levantados são disponibilizados nos materiais suplementares, na forma de três arquivos .csv e um arquivo de metadata.

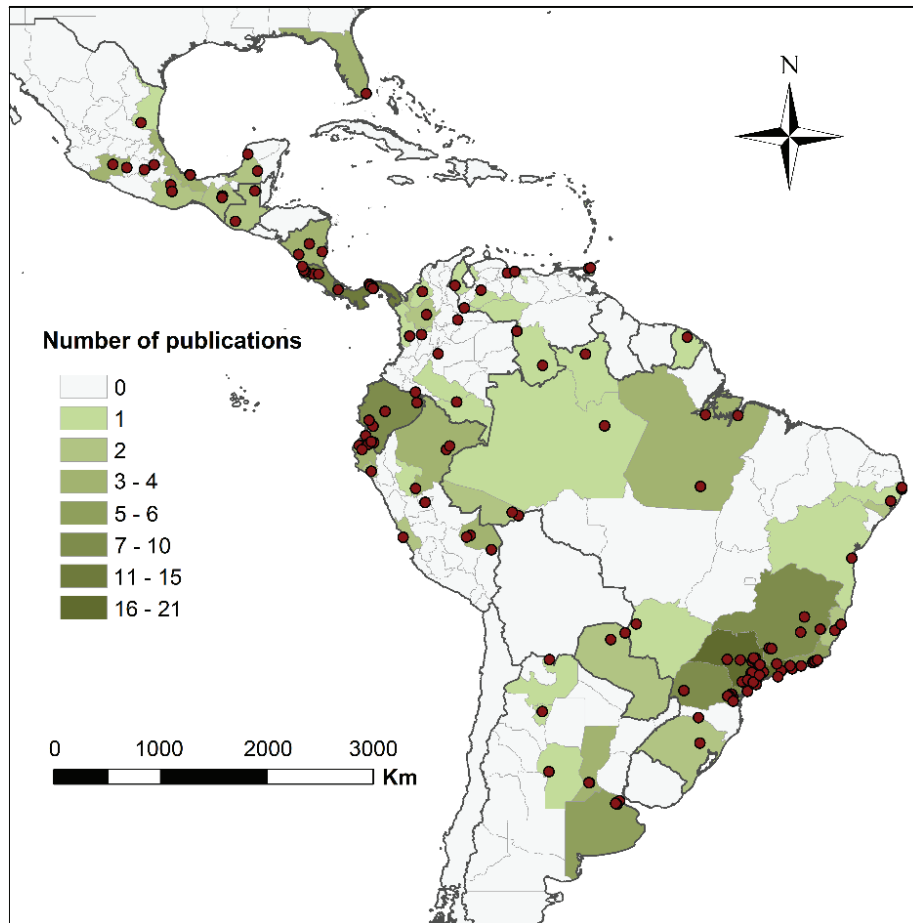


Figura 3: Mapa da localização de todas as interações ecológicas encontradas na literatura envolvendo esquilos neotropicais. É possível ver a concentração de estudos em regiões como São Paulo, enquanto outras regiões com alta biodiversidade, como a Amazônia, possuem poucos dados disponíveis.

Referencias

- BANACK, S. A. Diet selection and resource use by flying foxes (*Genus Pteropus*). **Ecology**, v. 79, n. 6, p. 1949–1967, 1998.
- BOTH, C.; BOUWHUIS, S.; LESSELLS, C. M.; VISSER, M. E. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. **Nature**, v. 441, n. 1, p. 81–83, 2006.
- DUKAS, R. Evolutionary Biology of Animal Cognition. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, n. 1, p. 347–374, 2004. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130152>>
- EGGERS, S.; GRIESSER, M.; NYSTRAND, M.; EKMAN, J. Predation risk induces changes in nest-site selection and clutch size in the Siberian jay. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 273, n. 1587, p. 701–706, 2006.
- EOG. **Earth Observation Group, National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)**, Earth Observation Group, National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2018. Disponível em: <<https://www.ngdc.noaa.gov/eog/index.html>>
- GASTON, K. J.; BENNIE, J.; DAVIES, T. W.; HOPKINS, J. The ecological impacts of nighttime light pollution: A mechanistic appraisal. **Biological Reviews**, v. 88, n. 4, p. 912–927, 2013.
- GRIECO, F.; VAN NOORDWIJK, A. J.; VISSER, M. E. Evidence for the effect of learning on timing of reproduction in blue tits. **Science**, v. 296, n. 5565, p. 136–138, 2002.
- GROSS, K.; PASINELLI, G.; KUNC, H. P. Behavioral plasticity allows short-term adjustment to a novel environment. **The American Naturalist**, v. 176, n. 4, p. 456–464, 2010.
- HETTYEY, A.; THONHAUSER, K. E.; BÓKONY, V.; PENN, D. J.; HOI, H.; GRIGGIO, M. Naive tadpoles do not recognize recent invasive predatory fishes as dangerous. **Ecology**, v. 97, n. 11, p. 2975–2985, 2016.
- IPCC. **Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland.
- ISLER, K.; VAN SCHAİK, C. P. Metabolic costs of brain size evolution. **Biology Letters**, v.

2, n. 4, p. 557–560, 2006.

KRONFELD-SCHOR, N.; DAYAN, T. Partitioning of time as an ecological resource. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, n. 1, p. 153–181, 2003.

Disponível em: <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132435>

MACLEOD, R.; BARNETT, P.; CLARK, J. A.; CRESSWELL, W. Body mass change strategies in blackbirds *Turdus merula*: The starvation-predation risk trade-off. **Journal of Animal Ecology**, v. 74, n. 2, p. 292–302, 2005.

POST, E.; FORCHHAMMER, M. C. Climate change reduces reproductive success of an Arctic herbivore through trophic mismatch. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1501, p. 2369–2375, 2008.

PRATAS-SANTIAGO, L. P.; GONÇALVES, A. L. S.; NOGUEIRA, A. J. A.; SPIRONELLO, W. R. Dodging the moon: The moon effect on activity allocation of prey in the presence of predators. **Ethology**, v. 123, n. 6–7, p. 467–474, 2017.

PRUGH, L. R.; GOLDEN, C. D. Does moonlight increase predation risk? Meta-analysis reveals divergent responses of nocturnal mammals to lunar cycles. **Journal of Animal Ecology**, v. 83, n. 2, p. 504–514, 2014.

ROBERTSON, B. A.; REHAGE, J. S.; SIH, A. Ecological novelty and the emergence of evolutionary traps. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 28, n. 9, p. 552–560, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2013.04.004>

SCHLAEPFER, M. A.; RUNGE, M. C.; SHERMAN, P. W. Ecological and evolutionary traps. **TRENDS in Ecology & Evolution**, v. 17, n. 10, p. 474–480, 2002.

SOL, D.; LAPIEDRA, O.; GONZÁLEZ-LAGOS, C. Behavioural adjustments for a life in the city. **Animal Behaviour**, v. 85, n. 5, p. 1101–1112, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anbehav.2013.01.023>

VERDOLIN, J. L. Meta-analysis of foraging and predation risk trade-offs in terrestrial systems. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 60, n. 4, p. 457–464, 2006.

WEISER, E. L.; POWELL, A. N. Does garbage in the diet improve reproductive output of Glaucous gulls? **The Condor**, v. 112, n. 3, p. 530–538, 2010. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1525/cond.2010.100020>

WILCOX, C.; VAN SEBILLE, E.; HARDESTY, B. D. Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 38, p. 11899–11904, 2015. Disponível em: <<http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.1502108112>>

WITHERINGTON, B. E.; MARTIN, R. E. **Understanding, assessing, and resolving light-pollution problems on sea turtle nesting beaches**. Florida Marine Research Institute Technical Report TR-2.

WONG, B. B. M.; CANDOLIN, U. Behavioral responses to changing environments. **Behavioral Ecology**, v. 26, n. 3, p. 665–673, 2015.

5. CONCLUSÃO GERAL

De modo geral, todos os objetivos propostos pela tese foram atingidos. No primeiro capítulo, foi demonstrando que apesar da existência de plasticidade comportamental no comportamento de cache do esquilo-vermelho-de-Graham, esta plasticidade é relacionada à estrutura do habitat, mas não a fatores climáticos, que tem sido afetados pelas mudanças climáticas. Este resultado é particularmente preocupante para a conservação e sobrevivência dessa subespécie ameaçada de esquilos-vermelhos, visto que há previsões de acréscimos de até 4.7 graus na temperatura média da região até 2100.

O segundo capítulo, demonstrou a ocorrência de plasticidade comportamental em resposta a perturbações antropogênicas variadas em pelo menos sete espécies de mamíferos florestais (*Cuniculus paca*, *Dasyprocta azarae*, *Dasyprocta novemcinctus*, *Pecari tajacu*, *Tayassu pecari*, *Sus scrofa* e *Tapirus terrestris*), com fortes evidências de similares respostas para outras cinco espécies (*Leopardus guttulus*, *L. wiedii*, *Cabassous unicinctus*, *C. tatouay* e *Euphractus sexcinctus*). Essa plasticidade foi detectada na forma de alterações no padrão de atividade circadiana, com as espécies se tornando em média 20% mais noturnas em áreas perturbadas. Essas alterações na atividade circadiana foram observadas tanto em espécies noturnas quanto diurnas, e principalmente em espécies alvo de caça ilegal e perseguição. Em conjunto, caça ilegal e poluição luminosa são os mais plausíveis mecanismos por trás das alterações na atividade circadiana observadas.

Por fim, no terceiro capítulo, foi possível reunir um total de 155 publicações contendo dados de 20 espécies de esquilos Neotropicais, em 15 países. A partir dessas publicações, foi possível identificar 182 itens alimentares, 28 espécies dispersas por esquilos, 47 espécies utilizadas para fins não alimentares (e.g. construção de ninhos), 39 espécies que interagem com esquilos de forma não agonística, 65 parasitas e 16 espécies que predam esquilos. Também registramos um aumento na densidade de esquilos em áreas florestais fragmentadas, o que demonstra a resiliência e o potencial de algumas espécies para serem dispersores de sementes em paisagens fragmentadas. Identificou-se também a necessidade de mais informações sobre a dieta, especialmente para as espécies de menor porte (i.e. *Sciurillus pusillus* e *Microsciurus spp.*), a capacidade de dispersão de sementes, parasitos e de potencial zoonótico para a maior parte das espécies de esquilos neotropicais.

