

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 26/11/2021.

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

**EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO AMBIENTE NAS ROTAS DE
MIGRAÇÃO DE AVES NA AMÉRICA DO SUL**

NATÁLIA STEFANINI DA SILVEIRA



Novembro - 2020

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

**EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO AMBIENTE NAS ROTAS DE
MIGRAÇÃO DE AVES NA AMÉRICA DO SUL**

NATÁLIA STEFANINI DA SILVEIRA

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

Orientador: Marco Aurélio Pizo
Ferreira

Coorientador: Thadeu Sobral-Souza

S587e

Silveira, Natália Stefanini da

Efeito das mudanças climáticas e do ambiente nas rotas de migração de aves na América do Sul / Natália Stefanini da Silveira. -- Rio Claro, 2020

101 f. : tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientador: Marco Aurélio Pizo Ferreira

Coorientador: Thadeu Sobral-Souza

1. Mudanças climáticas. 2. Aves Migração. 3. Corredores (Ecologia). 4. Biogeografia. 5. Locomoção animal. 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: Efeito das mudanças climáticas e do ambiente nas rotas de migração de aves na América do Sul

AUTORA: NATÁLIA STEFANINI DA SILVEIRA

ORIENTADOR: MARCO AURELIO PIZO FERREIRA

COORDENADOR: THADEU SOBRAL DE SOUZA

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

Marco A. Pizo

Prof. Dr. MARCO AURELIO PIZO FERREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP

Milton Cezar Ribeiro
Prof. Dr. MILTON CEZAR RIBEIRO (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP

Mateus Souza Lima Ribeiro
Prof. Dr. MATEUS SOUZA LIMA RIBEIRO (Participação Virtual)
Universidade Federal de Goiás

André de Camargo Guaraldo
Prof. Dr. ANDRÉ DE CAMARGO GUARALDO (Participação Virtual)
Universidade Federal de Juiz de Fora

Thais Bastos Zanata
Prof. Dr. THAIS BASTOS ZANATA (Participação Virtual)
Universidade Federal do Mato Grosso

Rio Claro, 26 de novembro de 2020

Dedico esta tese a todos os esperançosos.

Agradecimentos

Talvez esse seja o texto mais complicado de escrever dessa tese inteira. Passei uma boa parte da vida escrevendo de forma “científica” e racional, colocar os sentimentos para fora se tornou algo muito complexo, e até mais complicado.

Começarei com os agradecimentos formais, até técnicos eu diria. Gostaria de agradecer ao Instituto de Biociências da Unesp de Rio Claro e ao Departamento de Zoologia por me acolherem durante todo esse período e a Pós Graduação em Zoologia pelo apoio e pela ajuda de sempre. Também gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo meu financiamento durante esses quatro anos de doutorado.

Agora começo a colocar um pouco de sentimento na minha escrita e começo agradecendo imensamente ao meu orientador Marco Aurélio Pizo pelo companheirismo e mentoria durante todos esses anos, ele foi essencial para minha formação como profissional acadêmica. Obrigada por me apoiar em todas as decisões e por me deixar livre para crescer e decidir sobre como seria minha tese e minha jornada no doutorado.

Agradeço também ao meu coorientador e amigo Thadeu pela ajuda de sempre. Obrigada pelos elogios constantes, ele talvez não saiba como isso foi importante em momentos tão difíceis. E mais um agradecimento especial ao meu colaborador/coorientador Alex Jahn por todo o apoio e mentoria que foram fundamentais para que esse trabalho fosse realizado. Obrigada ao meu colaborador e amigo Maurício simplesmente por tudo, nem posso descrever o “tudo” em que ele esteve presente durante todos esses anos.

A linguagem vai ficando cada vez mais sentimental e começo a me lembrar de todas as pessoas que passaram pela minha vida durante toda a minha vida academia. Aos meus queridos laboratórios LECAVE e LEEC todo o amor do mundo. Gostaria de por todos os nomes aqui, mas felizmente fui contemplada nessa vida com tantas pessoas incríveis que não caberiam nessas linhas. Amigos que levarei para a vida toda. Laura, Renata, Júlias, Milene, Paula, são tantas irmãs de vida que ganhei nessa minha jornada em Rio Claro que só tenho a agradecer por todo o apoio, pelo ombro amigo, pelas longas conversas e pelo amor que me foi dado. Ainda duvido que tenha merecido tanto.

Um “obrigada” mais que especial a minha família por acreditarem e apoiarem minhas decisões. Somos uma família muito sentimental, mas que não sabe se expressar em relação ao carinho que sentimos um pelo outro, e talvez isso não seja necessário desde que

estejamos sempre juntos. Obrigada por me proporcionarem tantas oportunidades e privilégios.

E um último agradeço, também, àqueles que passaram rápido por mim nesses anos, mas que fizeram uma grande diferença na minha vida. Talvez eles nem saibam, talvez ele nem saiba. Obrigada pelos poucos, mas bons momentos, e pelo carinho recíproco.

Continuaremos na luta, venceremos!

“Venceremos!

Se não estamos unidos

Saibamos o que derrubar

Venceremos!

Se não for por você que seja pelo seu igual

Venceremos!

Faça por você! Faça por todos nós! Faça por ninguém!”

(Dead Fish)

Resumo

As mudanças climáticas e a modificação da paisagem têm causado efeitos negativos sobre a biodiversidade. Esses dois processos já foram reportados como causas principais de extinções de espécies, de mudanças nos padrões de riqueza e diversidade de comunidades, e da modificação no funcionamento dos ecossistemas e seus serviços ecossistêmicos correlatos. As mudanças climáticas e a modificação da paisagem também são listados como causa para as mudanças nos padrões de distribuição geográfica das espécies e das rotas de migração de táxons migrantes. O objetivo principal dessa tese foi avaliar como as mudanças climáticas futuras poderão afetar a distribuição de áreas de reprodução e invernada de aves da América do Sul, além de traçar os corredores migratórios potenciais para essas espécies, considerando a configuração atual da paisagem. No primeiro capítulo, que inferiu os efeitos das mudanças climáticas futuras sobre as áreas potenciais de reprodução e invernada em aves da América do Sul, foram utilizados dados de ocorrência de três espécies de sabiás (Turdidae; *Turdus nigriceps*, *T. subalaris* e *T. flavipes*) que se reproduzem e passam o inverno em diferentes regiões da América do Sul. Para isso foram utilizados modelos de nicho ecológico e simulações climáticas futuras para prever modificações latitudinais, longitudinais e/ou altitudinais nos sítios de invernada e reprodução. Os resultados indicaram mudanças futuras nas áreas de invernada e reprodução. No futuro as espécies terão seus locais de reprodução e invernada em locais de maior altitude, mais à oeste e latitudinalmente mais a sul. Os resultados apontam também para a diminuição do tamanho das áreas de invernada e reprodução. Os achados também sugerem que no futuro as aves migratórias da América do Sul provavelmente sofrerão mudanças na localização geográfica das suas rotas migratórias. No segundo capítulo, que trata sobre as rotas potenciais de migração das aves considerando a configuração atual da paisagem da América do Sul, foram modelados múltiplos corredores potenciais de migração utilizando a técnica de menor custo, que permite a simulação de múltiplas rotas alternativas entre pares de fontes e alvos. Os resultados sugerem que as modificações sofridas na paisagem foram importantes para estabelecer rotas mais adequadas para a migração das espécies. As descobertas dessa tese são as primeiras a demonstrar como as mudanças climáticas poderão afetar as aves migratórias na América do Sul além de demonstrar os efeitos potenciais da modificação da paisagem sobre as rotas de migração potenciais de aves.

Palavras-chave: migração, América do Sul, aves, mudanças climáticas, paisagens

Abstract

Climate change and landscape modification have had negative effects on biodiversity. These two processes have been reported as a major cause of species extinctions, changes in wealth patterns and diversity of communities, and the change in the functioning of ecosystems and their related ecosystem services. Climate change and landscape modification are also listed as a cause for changes in the patterns of geographic distribution of species and migration routes of migrating taxa. The main objective of this thesis was to evaluate how future climate change may affect the distribution of wintering and breeding areas of South America birds, in addition to showing the potential migration corridors for these species, given the current configuration of the landscape. In the first chapter, which inferred the effects of future climate change on the potential breeding and wintering areas in South America, we used occurrence data of three species of thrushes (Turdidae, *Turdus nigriceps*, *T. subalaris* and *T. flavipes*) that reproduce and spend the winter in different regions of South America. For this purpose, ecological niche models and future climate simulations were used to predict latitudinal, longitudinal and / or altitudinal changes in wintering and breeding sites. The results indicated future changes in the wintering and reproduction areas. In the future, the species will have their breeding and wintering sites in places of higher altitude, more to the west longitudinally and more south latitudinally. The results also point to a decrease in the size of the wintering and reproduction areas. The findings also suggest that in the future migratory birds from South America are likely to undergo changes in the geographical location of their migratory routes. In the second chapter, which deals with potential bird migration routes considering the current configuration of the South American landscape, multiple potential migration corridors were modeled using the lowest cost technique, which allows the simulation of multiple alternative routes between pairs of sources and targets. The results suggest that the changes undergone in the landscape were important to establish more suitable routes for species migration. The findings of this thesis are the first to demonstrate how climate change could affect migratory birds in South America, in addition to demonstrating the potential effects of landscape modification on potential bird migration routes.

Keyword: migration, South America, birds, climate change, landscapes

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	01
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
FUTURE CLIMATE CHANGES IMPACTS THE SIZE AND LOCATION OF BREEDING AND WINTERING AREAS OF MIGRATORY BIRD IN SOUTH AMERICA.....	19
ABSTRACT	20
INTRODUCTION	21
METHODS.....	24
Species occurrence data	25
Climate Variables	25
Ecological Niche Models	26
Dynamic changes in wintering and breeding sites distribution under climate change	27
RESULTS.....	28
Distribution of wintering and breeding areas	28
Effects of future climate changes on wintering and breeding areas	30
DISCUSSION.....	36
REFERENCES	39
A INFLUÊNCIA DO CLIMA E DA PAISAGEM EM CORREDORES MIGRATÓRIOS POTENCIAIS NA AMÉRICA DO SUL.....	47
RESUMO	47
INTRODUÇÃO.....	48
MATERIAL E MÉTODOS.....	50
Dados de ocorrência de espécies	51
Variáveis climáticas e ambientais.....	52
Modelos de Nicho Ecológico (ENMs).....	52
Mapas de superfície de resistência.....	53
Modelagem de múltiplos corredores de menor custo	54
Análises Estatísticas.....	54

RESULTADOS	55
DISCUSSÃO.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
MATERIAL SUPLEMENTAR	70

Introdução geral

Efeito das mudanças ambientais globais sobre a biota

As mudanças climáticas e a modificação da paisagem são considerados os principais processos que levam à crise atual da biodiversidade (BELLARD et al., 2012; BUDERMAN; DEVRIES; KOONS, 2020; SCHEFFERS et al., 2016). Contudo, esses processos atuam em escalas espaciais diferentes. As mudanças climáticas governam os padrões em escalas amplas, enquanto processos dependentes da paisagem, como interações ecológicas e a modificação do uso e cobertura da solo, estruturam a biodiversidade em escalas finas (CAVENDER-BARES et al., 2009; PEARSON et al., 2002). Dessa forma, integrar processos multiescalas é primordial como forma de estudar impactos antrópicos sobre a biodiversidade (Santos et al. 2020).

As mudanças climáticas são listadas como causas para afetar a biodiversidade em diferentes níveis de organização, dos organismos aos ecossistemas. Na escala global, as mudanças climáticas acarretarão na redistribuição geográfica das fitofisionomias (BELLARD et al., 2012). As mudanças climáticas futuras também afetarão os padrões globais atuais de riqueza e abundância de espécies, suas características morfológicas e fisiológicas, alterando o funcionamento dos ecossistemas e seus serviços ecossistêmicos correlatos, modificando os processos de montagem e estruturação de comunidades biológicas, além de causar mudança no padrão de distribuição de espécies (PECL et al., 2017).

Efeitos diretos das mudanças climáticas em escala ampla sobre a distribuição das espécies podem causar mudanças na estrutura das comunidades pré-existent em escala fina, gerando novos processos de interações entre as espécies que nunca co-ocorreram anteriormente (WARREN; SEIFERT, 2011). Para muitas espécies, as mudanças climáticas podem causar também mudanças no padrão de dispersão e migração (especialmente migrações latitudinais e altitudinais) (BELLARD et al., 2012; THOMAS et al., 2004; VERGÉS et al., 2014). Logo, as mudanças climáticas em escala ampla podem também alterar padrões em escala fina, ou vice-versa.

Registros históricos mostram que as mudanças ambientais globais, independente da escala, não são devidas apenas à ação antrópica, como a fragmentação e a perda de habitat (FAHRIG, 2003), mas à soma de modificações antrópicas que levam às modificações climáticas globais (COX, 2010; SEKERCIOGLU et al., 2012). Desde os períodos glaciais

pleistocênicos, há 2 Ma, são observados impactos ambientais sobre a biota local como resultado das mudanças climáticas globais (ELPHICK, 2007; COX, 2010; BARRIENTOS et al., 2014). Porém, nos últimos anos, avaliações feitas pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), mostram que as variações nos regimes de temperatura e precipitação do planeta são mais intensas do que os registros para os últimos 65 mil anos (DIFFENBAUGH & FIELD, 2013). Dessa forma, fica evidente que as mudanças climáticas atuais são oriundas do comportamento humano e que irão acontecer em um tempo muito mais curto (décadas, ou séculos) do que as mudanças climáticas naturais, que ocorrem em resposta aos movimentos cíclicos da órbita terrestre, como o Ciclo de Milankovic, que ocorre na escala de milhares ou milhões de anos (BROWN & LOMOLINO, 1998).

Normalmente consideradas como modificações antrópicas de fina escala, as modificações na paisagem podem afetar diversos processos ecológicos, como as dinâmicas populacionais e persistência das espécies (FAHRIG, 2003), interações biológicas (BELLO et al., 2015) e, especialmente, a dispersão e movimentação dos indivíduos (NATHAN, 2008). Associado às mudanças climáticas, as mudanças nas estruturas das paisagem, como perda de habitat, fragmentação e mudanças na configuração da paisagem, poderão se apresentar, em alguns casos, como últimas barreiras significativas para a movimentação das espécies (COLWELL et al., 2008). Assim, conforme as mudanças ambientais se tornam cada vez mais rápidas, isso implicará na dificuldade das espécies em se adaptar às novas condições ambientais (LOISELLE et al., 2010).

As mudanças em escala fina, como a modificação da configuração das paisagens naturais e no uso e cobertura do solo, podem acelerar ainda mais os efeitos das mudanças climáticas no futuro (BUDERMAN; DEVRIES; KOONS, 2020). Mudanças no uso da terra, como a expansão de áreas de agricultura e pecuária, além de outros tipos de uso antrópico, influenciam negativamente a conectividade da paisagem e levam a impactos negativos que alteram processos importantes, como a dispersão de indivíduos e a migração sazonal de espécies migradoras (RAYFIELD; FORTIN; FALL, 2011; TISCHENDORF; FAHRIG, 2000) e resultam na impossibilidade de dispersão e/ou migração para locais que serão ambientalmente adequados no futuro.

Migração de aves e os efeitos das mudanças ambientais globais

A migração vem sendo bastante estudada em vários táxons animais, dos

vertebrados aos invertebrados (ALERSTAM; HEDENSTROM; AKESSON, 2003). Mesmo com a indefinição inerente ao conceito de migração (ALVES, 2007), em um sentido mais específico, migração é um movimento cíclico, um deslocamento que ocorre e se repete anualmente, levando grupos de indivíduos a se deslocarem de forma alternada entre áreas de reprodução e áreas de alimentação e invernada (ALERSTAM; HEDENSTROM; AKESSON, 2003; ALVES, 2007).

A estratégia de migração (movimento) está fortemente ligada à variação climática sazonal (PARMESAN, 2006; PARMESAN; YOHE, 2003; SCHEFFERS et al., 2016). As espécies migratórias são particularmente vulneráveis às mudanças climáticas porque se movem entre diferentes áreas geográficas buscando condições ambientais adequadas. Cada uma dessas áreas geográficas é influenciada por diferentes fatores ambientais, incluindo o clima e mudanças na paisagem (NEWTON, 2008). Logo, entender o efeito combinado das mudanças climáticas e da modificação da paisagem em cada uma das regiões geográficas que as espécies usam para migrar se torna importante, pois essas modificações poderão alterar o padrão migratório das espécies.

Os padrões migratórios de aves, por exemplo, vêm sofrendo alterações devido às recentes mudanças nos regimes climáticos globais (PULIDO; BERTHOLD, 2010; SEKERCIOGLU; PRIMACK; WORMWORTH, 2012). Dentre as alterações migratórias já conhecidas listam-se modificações nos locais de invernada, de reprodução, assim como um aumento de casos em que a decisão de permanecer residente em detrimento do hábito migratório é mais frequente (FIEDLER; BAIRLEIN; KÖPPEN, 2004; NIVEN et al., 2004; PULIDO; BERTHOLD, 2010). Embora as aves migratórias possam, em alguns casos, modificar a distribuição de suas áreas de reprodução e invernada de acordo com as mudanças no clima e no ambiente (COPPACK et al., 2003; HUNTLEY et al., 2006), mudanças extremas e rápidas no clima, como as mudanças climáticas atuais, representam desafios insuperáveis à sobrevivência e à reprodução, especialmente para migrantes de longa distância (JONES; CRESSWELL, 2010; VÉGVÁRI et al., 2010).

As aves possuem ampla variedade de estratégias migratórias. O conhecimento acerca da biogeografia, evolução e fisiologia dos movimentos migratórios das aves mostram a complexidade e a variabilidade desse processo (JAHN et al., 2006) e como a estratégia migratória pode ser adaptável à sazonalidade climática e aos recursos disponíveis (BERTHOLD, 1996). Essas variações de estratégias podem estar relacionadas com a idade (SERGIO et al., 2014), sexo (KJELLÉN et al., 2001), morfologia corporal (ALERSTAM

et al., 2003; FIEDLER,2005) e questões sociais, como competição e interações sociais (MARRA 2000; SHAMOUN-BARANES et al. 2017).

Migração de aves na América do Sul

A migração de aves na América do Sul é comum e envolve mais de 200 espécies de 'migrantes austrais neotropicais', que migram entre locais de reprodução em zonas temperadas ao sul e áreas de inverno mais próximas à linha do Equador (CHESSER, 1994; JAHN et al., 2013). Isso se deve em grande parte à grande variação espaço-temporal na disponibilidade de recursos que as aves procuram em todo o continente (CHESSER, 1994; FAABORG et al., 2010; JOSEPH, 1997). Em contraste, a América do Norte, onde a área de reprodução é grande em comparação à área de invernada (América Central), a área de reprodução disponível para os migrantes neotropicais austrais é menor do que sua área de inverno. Isso é explicado pelo fato da América do Sul ser continentalmente mais estreita em latitudes temperadas ao sul vs. latitudes tropicais. Além disso, devido ao efeito estabilizador dos oceanos que compõem a maioria do Hemisfério Sul (DINGLE, 2008; YOM-TOV; CHRISTIE; IGLESIAS, 1994), o clima nas latitudes temperadas ao sul é mais ameno do que em latitudes temperadas no norte (PARUELO et al., 1998). Como resultado, a migração austral neotropical ocorre geralmente em distâncias mais curtas que as migrações norte americanas (FAABORG et al., 2010a; JAHN; LEVEY; SMITH, 2004; SEKERCIOGLU et al., 2007).

A migração altitudinal e intra-tropical são outros dois padrões migratórios de aves encontrados na América do Sul. Os migrantes intra-tropicais migram apenas dentro dos trópicos (ou seja, entre os trópicos de Câncer e Capricórnio) em padrões complexos e variados (movimentos altitudinais, latitudinais e longitudinais). A migração altitudinal é comum nos neotrópicos, consistindo em movimentos entre diferentes elevações, geralmente com a reprodução ocorrendo em altitudes mais elevadas e invernadas em altitudes mais baixas (FAABORG et al., 2010).

Apesar da grande variedade de sistemas migratórios adotados pelas aves no Hemisfério Sul, a maioria ainda é pouco compreendida, em grande parte devido à grande complexidade relacionada ao sexo, idade e estratégias migratórias específicas entre as populações (JAHN et al., 2009, 2013), dificuldade logística associada ao rastreamento de organismos em larga escala, além da falta de infraestrutura de pesquisa nessas regiões (JAHN et al., 2013).

Os sabiás migratórios na América do Sul

Notavelmente, vários táxons de aves migratórias exibem ampla variedade de padrões migratórios na América do Sul. Em particular, espécies de sabiás (família Turdidae) são migrantes comuns no continente, sendo encontradas em uma grande variedade de habitats naturais, desde florestas densas até pastagens, incluindo também áreas urbanas (GASPERIN; AURÉLIO PIZO, 2009; PIZO, 2007; COLLAR, KIRWAN, 2020). Dentre os gêneros descritos na família Turdidae, os *Turdus sp.* são comumente encontrados na América do Sul, e possuem vários tipos de movimentos, sempre associados a alguma preferência de habitat (DA SILVEIRA et al., 2016). Entre os *Turdus* migrantes na América do Sul, destacam-se *Turdus flavipes flavipes* (Vieillot, 1818), *Tudus nigriceps* (Cabanis, 1874) e *Turdus subalaris* (Seebohm, 1987).

Turdus flavipes flavipes, também conhecido como sabiá-uma no Brasil, é uma subespécie brasileira restrita de Mata Atlântica, enquanto outras subespécies são encontradas mais ao norte, próximas às Guianas e à Venezuela. Indivíduos de *T. flavipes flavipes* ocorrem na maioria dos estratos florestais (incluindo níveis médios inferiores e dossel), bordas de floresta úmida, floresta secundária e em clareiras adjacentes e plantações de café sombreadas. Contudo, possuem ligação intrínseca com formações florestais. Essa espécie normalmente nidifica em regiões acima de 800 m de altitude, migrando para regiões mais baixas na época de descanso e invernada (ALVES, 2007; COLLAR, KIRWAN, 2020).

Turdus nigriceps é uma espécie andina que se distribui da Argentina ao sudoeste do Equador e noroeste do Peru, sempre próxima à região da Cordilheira dos Andes. Essa espécie habita regiões de dossel e bordas de floresta subtropical úmida de montanha, floresta secundária, geralmente ao longo de riachos em arbustos úmidos densos, ravinas arborizadas e vegetações úmidas de encostas de montanhas conhecidas com *Yungas*, que ficam no centro da Bolívia e ao leste do Peru (CAPLLONCH; SORIA; ORTIZ, 2008; COLLAR, KIRWAN, 2020), sendo portanto uma espécie dependente de fisionomias florestais para a sua sobrevivência. Os indivíduos da espécie são comumente encontrados na estação chuvosa e, devido à altitude, são abundantes apenas em florestas tropicais montanhosas (CAPLLONCH; SORIA; ORTIZ, 2008).

Turdus subalaris, conhecida como sabiá-ferreiro e até recentemente considerada conspecífica com *T. nigriceps*, se distribui do leste do Paraguai, sudeste do Brasil e nordeste da Argentina em épocas reprodutivas, e no centro oeste do Brasil em épocas de

descanso e invernada (Mato Grosso e Goiás) (COLLAR, KIRWAN, 2020). É uma espécie que habita regiões úmidas ao sul, dossel e orlas de Matas de Araucárias, floresta ribeirinha densa e semidecidual, bosques nas encostas das montanhas, mata de galeria, jardins com árvores esparsas de grande porte, áreas tipo parque e plantações, desde que próximo a corpos d'água (ALVES, 2007; VOGEL, 2014; COLLAR, KIRWAN, 2020), sendo também uma espécie que necessita de ambientes florestais para sua sobrevivência.

Em geral, os sabiás do gênero *Turdus* migram usando três rotas: i) a rota de migração altitudinal da Mata Atlântica, de curta distância, na qual as aves migram altitudinalmente dentro da Mata Atlântica (ALVES, 2007; MAIA-GOUVÊA; GOUVÊA; PIRATELLI, 2005), ii) rota de migração austral de longa distância da Mata Atlântica, na qual as aves migram latitudinalmente dentro da Mata Atlântica, e longitudinalmente entrando em regiões de Cerrado até próximo à Linha do Equador (por exemplo, *Turdus subalaris*; ALVES, 2007; VOGEL, 2014) e iii) a rota de migração austral andina de longa distância, na qual as aves migram latitudinalmente ao longo da Cordilheira dos Andes (por exemplo, *Turdus nigriceps*; CAPLLONCH; SORIA; ORTIZ, 2008).

Mais da metade do número de espécies de aves migratórias do planeta têm diminuído ao longo dos últimos 30 anos (KIRBY et al., 2008) como resultado de destruição do habitat, modificação da paisagem e alterações climáticas (JONES; CRESSWELL, 2010; WILCOVE; WIKELSKI, 2008). Mesmo sendo o terceiro maior sistema migratório do mundo, com mais de 200 espécies migrantes (CHESSER, 1994; ALVES, 2007; CUETO e JAHN, 2008), pouco se sabe sobre as aves migratórias da América do Sul. Ainda há pouco conhecimento sobre a dinâmica populacional, fisiologia, ecologia e comportamento dessas espécies. Assim, o conhecimento também é defasado sobre como as mudanças climáticas e ambientais podem afetar características biológicas e, por consequência, as estratégias de dispersão das aves sulamericanas (SHERRY e HOLMES, 1996; FAABORG et al., 2010; COX, 2010). Nesse contexto, estudos detalhados sobre os sistemas migratórios de aves na América do Sul podem ajudar a responder perguntas ecológicas importantes, visto que muitas espécies migratórias desempenham importantes funções ecossistêmicas como o transporte de nutrientes, energia e patógenos em nível continental (BAUER; HOYE, 2014), dispersão de sementes (BLENDINGER et al., 2012; CAVALLERO; RAFFAELE; AIZEN, 2013; GARCÍA; ZAMORA; AMICO, 2011), controle de pragas (MAZIA et al., 2004) e a polinização (SMITH-RAMÍREZ; ARMESTO, 1998).

Referências bibliográficas

- ALERSTAM, T.; HEDENSTROM, A.; AKESSON, S. Long-distance migration: evolution and determinants. **Oikos**, v. 103, n. May, p. 247–260, 2003.
- ALVES, M. A. S. Sistemas de migrações de aves em ambientes terrestres no Brasil : exemplos , lacunas e propostas para o avanço do conhecimento. v. 15, n. 2, p. 231–238, 2007.
- BAUER, S.; HOYE, B. J. Migratory animals couple biodiversity and ecosystem functioning worldwide. **Science**, v. 344, n. 6179, 2014.
- BELLARD, C. et al. Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology letters**, v. 15, n. 4, p. 365–377, 2012.
- BELLO, C. et al. Defaunation affects carbon storage in tropical forests. **Science Advances**, v. 1, n. 11, p. 1–11, 2015.
- BLENDINGER, P. G. et al. Fine-tuning the fruit-tracking hypothesis: Spatiotemporal links between fruit availability and fruit consumption by birds in Andean mountain forests. **Journal of Animal Ecology**, v. 81, n. 6, p. 1298–1310, 2012.
- BUDERMAN, F. E.; DEVRIES, J. H.; KOONS, D. N. Changes in climate and land use interact to create an ecological trap in a migratory species. **Journal of Animal Ecology**, v. 89, n. 8, p. 1961–1977, 2020.
- CAPLLONCH, P.; SORIA, K.; ORTIZ, D. Comportamiento Migratorio Del Zorzal Plomizo(Turdus Nigriceps Nigriceps) En Argentina. **Ornitologia Neotropical**, v. 19, n. 2, p. 161–174, 2008.
- CAVALLERO, L.; RAFFAELE, E.; AIZEN, M. A. Birds as mediators of passive restoration during early post-fire recovery. **Biological Conservation**, v. 158, p. 342–350, 2013.
- CAVENDER-BARES, J. et al. The merging of community ecology and phylogenetic biology. **Ecology Letters**, v. 12, n. 7, p. 693–715, 2009.
- CHESSER, R. T. Migration in South America: an overview of the austral system. **Bird Conservation International**, v. 4, n. 2–3, p. 91–107, 1994.

COLWELL, R. K. et al. Global Warming, Elevational Range Shifts, and Lowland Biotic Attrition in the Wet Tropics. **Science**, v. 322, n. October, p. 258–261, 2008.

COPPACK, T. et al. Photoperiodic response may facilitate adaptation to climatic change in long-distance migratory birds. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 270, n. SUPPL. 1, 2003.

DA SILVEIRA, N. S. et al. Effects of land cover on the movement of frugivorous birds in a heterogeneous landscape. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. 1–19, 2016.

DINGLE, H. Rowley review. Bird migration in the southern hemisphere: A review comparing continents. **Emu**, v. 108, n. 4, p. 341–359, 2008.

FAABORG, J. et al. Recent advances in understanding migration systems of New World land birds. **Ecological Monographs**, v. 80, n. 1, p. 3–48, 2010.

FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, p. 487–515, 2003.

FIEDLER, W.; BAIRLEIN, F.; KÖPPEN, U. Using Large-Scale Data from Ringed Birds for the Investigation of Effects of Climate Change on Migrating Birds: Pitfalls and Prospects. **Advances in Ecological Research**, v. 35, n. 04, p. 49–67, 2004.

GARCÍA, D.; ZAMORA, R.; AMICO, G. C. The spatial scale of plant-animal interactions: Effects of resource availability and habitat structure. **Ecological Monographs**, v. 81, n. 1, p. 103–121, 2011.

GASPERIN, G.; PIZO, M. A. Frugivory and habitat use by thrushes (*Turdus* spp.) in a suburban area in south Brazil. **Urban Ecosystems**, v. 12, n. 4, p. 425–436, 17 mar. 2009.

HUNTLEY, B. et al. Potential impacts of climate change upon geographical distribution of birds. **Ibis**, v. 148, n. s1, p. 8–28, 2006.

JAHN, A. E. et al. Breeding and winter site fidelity among eleven Neotropical austral migrant bird species. **Ornitologia Neotropical**, v. 20, n. 2, p. 275–283, 2009.

JAHN, A. E. et al. Long-distance bird migration within South America revealed by light-level geolocators. **The Auk**, v. 130, n. 2, p. 223–229, 2013.

JAHN, A. E.; LEVEY, D. J.; SMITH, K. G. Reflections Across Hemispheres: a System-Wide Approach To New World Bird Migration. **The Auk**, v. 121, n. 4, p. 1005, 2004.

JONES, T.; CRESSWELL, W. The phenology mismatch hypothesis: Are declines of migrant birds linked to uneven global climate change? **Journal of Animal Ecology**, v. 79, n. 1, p. 98–108, 2010.

JOSEPH, L. Towards a broader view of neotropical migrants: consequences of a re-

examination of austral migration. **Ornitología Neotropical**, v. 8, n. 1994, p. 31–36, 1997.

KIRBY, J. S. et al. Key conservation issues for migratory land- and waterbird species on the world's major flyways. **Bird Conservation International**, v. 18, p. S49–S73, 2008.

LOISELLE, B. A. et al. Assessing the impact of deforestation and climate change on the range size and environmental niche of bird species in the Atlantic forests, Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 37, n. 7, p. 1288–1301, 2010.

MAIA-GOUVÊA, E. R.; GOUVÊA, É.; PIRATELLI, A. Comunidade de aves de sub-bosque em uma área de entorno do Parque Nacional do Itatiaia, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 4, p. 859–866, 2005.

NATHAN, R. PNAS-2008-Nathan-19050-1. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 49, p. 19050–19051, 2008.

NIVEN, D. K. et al. Christmas Bird Count Provides Insights Into Population Change in Land Birds That Breed in the Boreal Forest. **American Birds**, v. 58, p. 10–20, 2004.

PARMESAN, C. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 37, n. 1, p. 637–669, 2006.

PARMESAN, C.; YOHE, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature**, v. 421, p. 37–42, 2003.

PARUELO, J. M. et al. The climate of Patagonia: General patterns and controls on biotic processes. **Ecologia Austral**, v. 8, n. 2, p. 85–101, 1998.

PEARSON, R. G. et al. Pearson2002.Pdf. **Ecological Modelling**, v. 154, p. 289–300, 2002.

PECL, G. T. et al. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. **Integrative Zoology**, v. 355, n. 6332, 2017.

PIZO, M. A. SCIENTIFIC COMMUNICATION The relative contribution of fruits and arthropods to the diet of three trogon species (Aves , Trogonidae) in the Brazilian Atlantic Forest. v. 24, n. 2, p. 515–517, 2007.

PULIDO, F.; BERTHOLD, P. Current selection for lower migratory activity will drive the evolution of residency in a migratory bird population. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 16, p. 7341–7346, 2010.

RAYFIELD, B.; FORTIN, M.-J.; FALL, A. Connectivity for conservation: a framework to classify network measures. **Ecology**, v. 92, n. 4, p. 847–858, 2011.

SCHEFFERS, B. R. et al. The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. **Science**, v. 354, n. 6313, 2016.

SEKERCIOGLU, C. H. et al. Persistence of forest birds in the Costa Rican agricultural countryside. **Conservation biology : the journal of the Society for Conservation Biology**, v. 21, n. 2, p. 482–94, abr. 2007.

SEKERCIOGLU, C. H.; PRIMACK, R. B.; WORMWORTH, J. The effects of climate change on tropical birds. **Biological Conservation**, v. 148, n. 1, p. 1–18, 2012.

SMITH-RAMÍREZ, C.; ARMESTO, J. Nectarivoría y polinización por aves en *Embothrium coccineum* (Proteaceae) en el bosque templado del sur de Chile. **Revista Chilena de Historia Natural**, v. 71, n. 1, p. 51–63, 1998.

THOMAS, C. D. et al. Extinction risk from climate change. **Nature**, v. 427, n. 6970, p. 145–148, 2004.

TISCHENDORF, L.; FAHRIG, L. On the usage and measurement of landscape connectivity. **Oikos**, v. 90, n. 1, p. 7–19, 2000.

VÉGVÁRI, Z. et al. Life history predicts advancement of avian spring migration in response to climate change. **Global Change Biology**, v. 16, n. 1, p. 1–11, 2010.

VERGÉS, A. et al. The tropicalization of temperate marine ecosystems: Climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1789, 2014.

VOGEL, H. F. Occurrence of the Eastern Slaty Thrush (Turdidae) in southern Brazil during the non-breeding season. v. 22, n. September, p. 260–264, 2014.

WARREN, D. L.; SEIFERT, S. N. Ecological niche modeling in Maxent: The importance of model complexity and the performance of model selection criteria. **Ecological Applications**, v. 21, n. 2, p. 335–342, 2011.

WILCOVE, D. S.; WIKELSKI, M. Going, going, gone: Is animal migration disappearing? **PLoS Biology**, v. 6, n. 7, p. 1361–1364, 2008.

YOM-TOV, Y.; CHRISTIE, M. I.; IGLESIAS, G. J. Clutch Size in Passerines of Southern South America. **The Condor**, v. 96, n. 1, p. 170–177, 1994.

Considerações finais

Nossos resultados demonstraram que mudanças antrópicas em diferentes escalas afetam processos migratórios das aves na América do Sul. As mudanças climáticas futuras parecem causar uma diminuição da área de reprodução e invernada além de mudá-las geograficamente para regiões mais altas e mais a oeste de onde ocorrem atualmente. As mudanças na estrutura da paisagem também parecem afetar as rotas migratórias das espécies de aves neotropicais, visto que corredores que levam em consideração a configuração da paisagem são diferentes dos corredores climáticos. Corredores mais tortuosos levaram em consideração a configuração da paisagem, especialmente o tipo de vegetação, no caso vegetações mais úmidas ou próximas a corpos d'água.. Logo, os dois processos, mesmo atuando em diferentes escalas, são (serão) capazes de modificar as rotas migratórias de aves da América do Sul, podendo causar impactos ainda mais graves a biodiversidade.

Por serem espécies onívoras e se alimentarem de uma vasta variedade de frutos, os sabiás contribuem para processos como a dispersão de sementes. Sendo assim, o melhor entendimento das trajetórias desses animais e dos mecanismos que as geraram pode ajudar no desenvolvimento de estratégias para a manutenção da biodiversidade, restaurações ecológicas, serviços ecossistêmicos associados, com destaque, no caso dos sabiás, para a dispersão de sementes. Além disso, como mencionado, essas espécies migrantes além de dispersarem sementes também podem ajudar a responder perguntas outras ecológicas importantes, como transporte de nutrientes, energia e patógenos a nível continental (controle de pragas e a polinização).

Nesse contexto, essa tese demonstra que modelos que integram processos ecológicos oriundos de diferentes escalas ainda são desafiadores, porém essenciais para responder questão globais e complexas como os padrões de migrações. Mais, os estudos em macro escala podem ajudar também na visualização mais nítida do panorama geral desses processos quando dados mais refinados (de radiotelimetria ou marcação e recaptura) não estão disponíveis.

Os resultados dessa tese demonstram também a necessidade de se pensar estratégias de conservação em multiplas escalas. Na América do Sul muitas espécies de aves migratórias possuem sistemas migratórios complexos que atuam em multiplas escalas, conseguir associar os impactos ecológicos nessas espécies em escalas diferentes é o maior dos desafios. Lembrando sempre que as mudanças ambientais ocorrem em

escalas espaciais e temporais, e a rapidez com que as modificações no ambiente estão ocorrendo afeta diretamente a forma como essas espécies vão se adaptar no futuro, podendo mudar totalmente suas estratégias de movimentação.

Essa tese também tinha o intuito era gerar um “*proxy*” para estudos de migração de aves na América do Sul, já que dados de migração das espécies de aves na América do Sul são escassos. Nosso estudo teve a intenção de apontar como o clima e a paisagem podem influenciar os sistemas de migração, e assim apontar áreas prioritárias para estudos de migração nessa região, especialmente nas áreas de invernada, onde pouco se conhece sobre as espécies. Logo, a partir dos resultados dessa tese será possível diminuir custos e facilitar estudos em regiões com sistemas migratórios complexos, principalmente porque na América do Sul existem grandes dificuldade logística associada ao rastreamento de organismos em larga escala, além da falta de infraestrutura de pesquisa. Reforçamos que na ausência de informações refinadas em níveis individuais, os modelos aqui construídos podem orientar o foco de estudos para outras espécies mais sensíveis e em outras escalas, contribuindo ainda mais para o conhecimento dos sistemas migratórios de aves na América do Sul.